

การพัฒนาเครื่องมือและแนวทางการเลือกใช้กระจกช่องเปิดสำหรับเขตร้อนชื้น

นายสัมฤทธิ์ เหล่าอิมจันทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

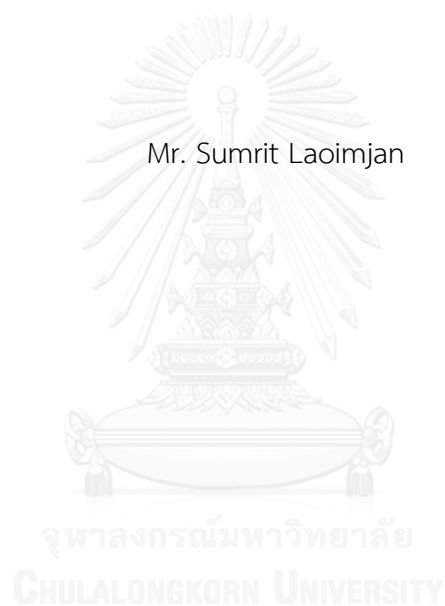
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF TOOL AND GUIDELINES FOR SELECTING FENESTRATIONS GLAZING
IN HOT HUMID CLIMATE

Mr. Sumrit Laoimjan



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

สัมฤทธิ์ เหล่าอิมจันทร์ : การพัฒนาเครื่องมือและแนวทางการเลือกใช้กระจกช่องเปิดสำหรับเขตร้อนชื้น (DEVELOPMENT OF TOOL AND GUIDELINES FOR SELECTING FENESTRATIONS GLAZING IN HOT HUMID CLIMATE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. วรสิทธิ์ บุรณากาญจน์, 143 หน้า.

อัตราการขยายตัวของประชากรโลกหรือแม้แต่ประชากรไทยเองนั้น มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องควบคู่ไปกับการต้องการใช้ทรัพยากรและความต้องการด้านที่อยู่อาศัย ส่งผลให้สภาพแวดล้อมเกิดความเปลี่ยนแปลงไปจากอดีต อุณหภูมิและปัญหามลภาวะเพิ่มสูงขึ้นในเขตเมืองทำให้สภาพแวดล้อมภายนอกไม่เหมาะกับการอยู่อาศัยและไม่สามารถนำอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกมาใช้ปรุงแต่งสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้อาศัยอยู่อย่างสบายได้

อาคารในปัจจุบันกลับเน้นการออกแบบที่เปิดช่องเปิดของตัวอาคารด้วยกระจกมากขึ้น จากความต้องการของผู้อยู่อาศัยที่ต้องการความรู้สึกโปร่ง ได้รับแสงสว่างจากธรรมชาติ รับรู้สภาพแวดล้อมภายนอก อีกทั้งยังสามารถควบคุมอากาศภายในอาคารได้ แต่ผู้ใช้งานส่วนใหญ่กลับยังไม่เข้าใจการใช้กระจกของช่องเปิด ทำให้ภาระการทำความเย็นของอาคารเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากกระจกให้พลังงานแสงสว่างผ่านและเปลี่ยนเป็นความร้อนสะสมอยู่ในอาคารเกิดเป็นสภาวะเรือนกระจก

เครื่องมือที่ช่วยในการเลือกใช้กระจกให้เหมาะสมในปัจจุบันนั้นมีน้อยและใช้งานยาก หรือแม้แต่ข้อมูลจากผู้ผลิตกระจกเองเป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นที่ยากต่อการนำไปช่วยในการเลือกใช้งานกระจกให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็น ซึ่งต้องใช้ความรู้ในการคำนวณอย่างมาก หากมีเครื่องมือหรือโปรแกรมที่สามารถระบุได้ว่ากระจกที่ติดตั้งในแต่ละทิศทำให้เกิดค่าภาระการทำความเย็นเท่าใด ก็สามารถเข้าใจถึงความแตกต่างของกระจกแต่ละชนิดและสามารถเลือกติดตั้งกระจกในทิศที่เหมาะสมได้ ยกตัวอย่างเช่นภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น 1 ตันแอร์นั้น เท่ากับการติดตั้งกระจกใส 6 มม. จำนวน 9.30 ตารางเมตร หรือเทียบเท่ากับการติดตั้งกระจกฉนวนควบคุมแสงอาทิตย์จำนวน 19.31 ตารางเมตร ซึ่งทำให้ทราบว่ากระจกใสเกิดค่าภาระการทำความเย็นที่มากกว่าประมาณ 2 เท่า ทำให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของกระจกแต่ละชนิดได้เข้าใจมากขึ้น อีกทั้งหากมีแนวทางในการเลือกใช้กระจกที่ทำให้ให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายร่วมด้วยก็จะเป็นการเพิ่มคุณค่าของการเลือกใช้ให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้นด้วย

ดังนั้นหากผู้เลือกใช้มีเครื่องมือคำนวณภาระการทำความเย็นที่ใช้งานง่ายและมีแนวทางการเลือกใช้กระจกอย่างเหมาะสม จะเป็นการดีกับผู้อยู่อาศัยและท้ายที่สุดก็จะเป็นประโยชน์อย่างมากกับพลังงานที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคตอีกด้วย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เขียนโปรแกรมการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับผู้ออกแบบหรือเจ้าของอาคารให้สามารถกำหนดพื้นที่ช่องเปิดที่เหมาะสมและประหยัดพลังงาน

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5573377525 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: GLASS / HUMAN COMFORT ZONE / FENESTRATIONS / COOLING LOAD / HEAT STOP

SUMRIT LAOIMJAN: DEVELOPMENT OF TOOL AND GUIDELINES FOR SELECTING FENESTRATIONS GLAZING IN HOT HUMID CLIMATE. ADVISOR: ASSOC. PROF. VORASUN BURANAKARN, Ph.D., 143 pp.

The rate of the world's population including Thailand has been continuously increasing along with the need for resources and habitats. This has led to the changing of the environment, higher temperature, and pollution, which are not appropriate for living conditions. Moreover, the outdoor environment cannot be used to enhance the appropriate living condition of the indoor environment.

Nevertheless, modern buildings at present focus on open design with glass as the inhabitants need open space, natural light and the feeling of the outside atmosphere. Also, indoor ventilation can be controlled. However, the designers do not always understand that open space with glass will increase the costs associated with air-conditioning since light passes through the glass and is then changed into heat trapped inside the building, leading to the greenhouse effect.

Glass manufacturer preliminary data are difficult for designer and owner. Calculating software as design tool helps designer and owner to select the appropriate glass. This software can determine whether the installed glass in each direction, causing how much cooling load. Designer can understand the different types of glass and the appropriate direction. For example, the cooling load occurs 1 ton of air is equal to installing 9.3 square meter of 6 mm. glass requires a ton of air-conditioning to cool space, which has the same load to 19.31 square meter of insulated glass. Therefore, designer can explore design alternative of various glass and its area to fit as well as design concept.

Department: Architecture

Field of Study: Architecture

Academic Year: 2014

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้คงสำเร็จลงไม่ได้ หากปราศจากบุคคลที่เป็นกำลังใจและกำลังสมองที่มอบความรู้ ความอุตสาหะ ความพยายาม ให้ผ่านอุปสรรคต่างๆ ในการทำวิจัยมาได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณบุคคล เหล่านั้นมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ศ. ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ผู้ให้ความรู้ต่างๆมากมาย รวมถึงคำแนะนำ และ เสียสละเวลาให้คำปรึกษาในการวิจัยอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วรสิทธิ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำแนะนำ และ เสียสละเวลาให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีในการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิมลรัตน์ อิศระธรรมบุญ และ อ.ดร.พร วิรุฬห์รักษ์ ที่เสียสละเวลาเข้าร่วม เป็นคณะกรรมการสอบ อีกทั้งยังให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์กับงานวิจัยของข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.รวิช คุชรประเสริฐ ที่เสียสละเวลาเข้าร่วมเป็นกรรมการสอบผู้ทรงคุณวุฒิ ภายนอก อีกทั้งยังให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์กับงานวิจัยของข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ผู้ให้ความรู้ ที่สำคัญอย่างยิ่งในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ บริษัท แอล.พี.เอ็น.ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน) ผู้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล แบบบ้านตัวอย่างเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณวินัย ทวีสกุลชัย ผู้บริหารบริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด ที่ สนับสนุนและผลักดันในการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาของข้าพเจ้า รวมทั้งคุณนฤมล หวังผล คุณสุวิมล แพทย์จินดา คุณสันติ สังข์มงคล และเพื่อนๆพนักงาน บริษัท ไทยเยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด ที่สนับสนุน ข้อมูลต่างๆ อีกทั้งยัง ช่วยเหลือเรื่องงานในระหว่างการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาของข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และ คุณรัตนา สมบัติรุ่งเรือง ครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและช่วยสนับสนุน ในทุกๆเรื่องในชีวิตของข้าพเจ้า ทำให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การคำนวณภาระการทำความเย็นตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989: Fundamentals.....	6
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสภาวะน่าสบาย	32
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับขอบเขตสบาย.....	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.1 ศึกษาการคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่ผ่านกระจก ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals.	36
3.2 วิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย ที่มีความสัมพันธ์กับการออกแบบกระจก	54

3.3 สรุปหาแนวทางการออกแบบกระจก จากการวิเคราะห์ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นของคุณสมบัติกระจก และจากการวิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย เพื่อนำมาจัดทำเครื่องมือหรือแนวทางช่วยในการออกแบบกระจก	59
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย.....	60
4.1 สรุปผลจากการศึกษาการคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่ผ่านกระจก ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals.	60
4.2 สรุปผลจากการวิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย.....	62
4.3 สรุปผลเพื่อสร้างแนวทางการออกแบบกระจกโดยวิเคราะห์จากภาระการทำความเย็น ร่วมกับการวิเคราะห์ถึงสภาวะน่าสบาย	63
บทที่ 5 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	79
5.1 ทดลองใช้เครื่องมือคำนวณที่จัดทำตามภาพที่ 4.2 กับตัวอย่างบ้านเดี่ยว.....	79
5.2 ความคุ้มค่าในการเปลี่ยนมาใช้กระจกคุณภาพดีเพื่อการประหยัดพลังงาน	90
5.3 ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับกระจกฉนวน	91
5.4 ข้อจำกัดและแนวทางการพัฒนาเครื่องมือที่จัดทำขึ้นมา	94
รายการอ้างอิง	95
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระจกที่ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน.....	101
ภาคผนวก ข. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับค่าคุณสมบัติต่างๆของกระจก	132
ภาคผนวก ค. อุณหภูมิอากาศประจำปี 2556 วัดที่สถานีดอนเมือง กรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	136
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	143

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสูงสุดในแต่ละวันของภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศในแต่ละเดือน ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณจากข้อมูลอ้างอิงจากหนังสืออาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ [7].....	30
ตารางที่ 3.1 แสดงผลสรุปค่าการคำนวณภาระการทำความเย็นทุกทิศที่เกิดจากกระจกใส 6 มม.....	50
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างภาระการทำความเย็นสำหรับกระจกใส 6 มม. ที่คำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แลตติจูด 16 องศาเหนือ อุณหภูมิอากาศภายนอกได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาสถาณีสอนเมือง [9] ปี 2556 กระจกโดนแดดและมีอุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร	66
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างภาระการทำความเย็นสำหรับกระจกฉนวน ที่คำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แลตติจูด 16 องศาเหนือ อุณหภูมิอากาศภายนอกได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาสถาณีสอนเมือง [9] ปี 2556 กระจกโดนแดดและมีอุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร	66
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการเปลี่ยนหน่วยพื้นที่กระจกของอาคาร จากตารางเมตรเป็นตารางฟุต ...	78
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณพื้นที่กระจกของด้านที่ 1 ของแบบบ้านตัวอย่าง ..	86
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณพื้นที่กระจกของด้านที่ 2 ของแบบบ้านตัวอย่าง ..	86
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณพื้นที่กระจกของด้านที่ 3 ของแบบบ้านตัวอย่าง ..	87
ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณพื้นที่กระจกของด้านที่ 4 ของแบบบ้านตัวอย่าง ..	87
ตารางที่ 5.5 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกระจกสำหรับกระจกใส 6 มม. ที่คำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แลตติจูด 16 องศาเหนือ อุณหภูมิอากาศภายนอกได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาสถาณีสอนเมือง [9] ปี 2556 กระจกโดนแดดและมีอุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร.....	88
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกระจกสำหรับกระจกฉนวน ที่คำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แลตติจูด 16 องศาเหนือ อุณหภูมิอากาศภายนอกได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาสถาณีสอนเมือง [9] ปี 2556 กระจกโดนแดดและมีอุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร	89
ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้จากการเปลี่ยนวิธีการคำนวณ	89

ตารางที่ ค. 1 อุณหภูมิอากาศเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	136
ตารางที่ ค. 2 อุณหภูมิอากาศเดือนกุมภาพันธ์ปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	137
ตารางที่ ค. 3 อุณหภูมิอากาศเดือนมีนาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	137
ตารางที่ ค. 4 อุณหภูมิอากาศเดือนเมษายนปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	138
ตารางที่ ค. 5 อุณหภูมิอากาศเดือนพฤษภาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	138
ตารางที่ ค. 6 อุณหภูมิอากาศเดือนมิถุนายนปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	139
ตารางที่ ค. 7 อุณหภูมิอากาศเดือนกรกฎาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	139
ตารางที่ ค. 8 อุณหภูมิอากาศเดือนสิงหาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	140
ตารางที่ ค. 9 อุณหภูมิอากาศเดือนกันยายนปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	140
ตารางที่ ค. 10 อุณหภูมิอากาศเดือนตุลาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	141
ตารางที่ ค. 11 อุณหภูมิอากาศเดือนพฤศจิกายนปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	141
ตารางที่ ค. 12 อุณหภูมิอากาศเดือนธันวาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9].....	142

สารบัญภาพ

ภาพที่1.1 ข้อมูลอุณหภูมิที่แตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยย้อนหลังประมาณ 150 ปี [2].....	1
ภาพที่1.2 แสดงอาคารในปัจจุบันที่มีการใช้กระจกเป็นส่วนประกอบผนังอาคารจำนวนมาก [3].....	2
ภาพที่1.3 ตัวอย่างค่าคุณสมบัติของกระจก [4] ซึ่งยากที่จะศึกษาและนำไปใช้งานได้ เหมาะสม.....	3
ภาพที่2.1 แสดง Table 27 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] ภาพรวมวิธีการคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่เกิดจากอิทธิพลทั้งภายนอกและภายในอาคาร	7
ภาพที่2.2 แสดง Table 29 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] ซึ่ง แสดง CLTD สำหรับใช้คำนวณหาภาระการทำความเย็นของหลังคาเรียบ	8
ภาพที่2.3 แสดง Table 32 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] ซึ่ง แสดง CLTD Correction (LM) สำหรับแลตติจูด และเดือนสำหรับหลังคาและผนังในช่วงแลตติ จูดเหนือ	9
ภาพที่2.4 แสดง Table 31 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] ซึ่ง แสดง CLTD สำหรับคำนวณหาภาระการทำความเย็นของผนัง	13
ภาพที่2.5 แสดง Table 33 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง CLTD สำหรับการถ่ายเทความร้อนของกระจก.....	14
ภาพที่2.6 แสดง Table 34 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง SHGF สำหรับคำนวณหาภาระการทำความเย็นของกระจกโดนแดด	15
ภาพที่2.7 แสดง Table 35 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง SHGF สำหรับคำนวณหาภาระการทำความเย็นของกระจกไม่โดนแดด	22
ภาพที่2.8 แสดง Table 36 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง CLF ของกระจกที่ไม่มีการบังเงาภายในอาคาร ตกแต่งภายในแบบทั่วไป	23
ภาพที่2.9 แสดง Table 37 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง CLF ของกระจกที่ไม่มีการบังเงาภายในอาคาร มีการบุพรมในห้อง	24

ภาพที่ 2.10 แสดง Table 38 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง CLF ของกระจกที่ไม่มีกระจกบังเงาภายในอาคาร ไม่มีการปูพรมในห้อง	24
ภาพที่ 2.11 แสดง Table 39 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง CLF ของกระจกที่มีการบังเงาภายในอาคาร	25
ภาพที่ 2.12 แสดง Table 41 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดงค่าการออกแบบ ตัวแปร a	26
ภาพที่ 2.13 แสดง Table 42 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดงค่าการออกแบบ ตัวแปร b	27
ภาพที่ 2.14 แสดง Table 43 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง CLF สำหรับการเปิดไฟที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน	28
ภาพที่ 2.15 แสดง Table 44 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง CLF สำหรับการเปิดไฟที่ 10 ชั่วโมงต่อวัน	28
ภาพที่ 2.16 แสดง Table 45 ตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . [5] แสดง CLF สำหรับการเปิดไฟที่ 12 ชั่วโมงต่อวัน	28
ภาพที่ 2.17 แสดงอัตราการกระทำความเย็นที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ [5]	29
ภาพที่ 2.18 แสดงอัตราการกระทำความเย็นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายอากาศระหว่างภายนอก และภายในอาคาร ในแต่ละเดือน [7]	31
ภาพที่ 2.19 แสดงแผนภูมิไปโอโคลเมติกที่แบ่งเขตสบายออกเป็น 4 กลุ่ม จากการวิเคราะห์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ประกอบกัน [8]	32
ภาพที่ 2.20 แสดงการแบ่งโซนพื้นที่ใช้งานให้เหมาะสมกับกิจกรรมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในแต่ละ พื้นที่ [8]	35
ภาพที่ 3.1 แสดงตัวอย่างโปรแกรมช่วยในการคำนวณอัตราการกระทำความเย็น	41
ภาพที่ 3.2 แสดงผลการคำนวณอัตราการกระทำความเย็นที่เกิดขึ้นมากที่สุด แยกตามตัวแปรค่า U- value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โดแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของ กระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ ภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศ เหนือ	42

ภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือ.....	49
ภาพที่ 3.10 แสดงผลสรุปค่าการคำนวณภาระการทำความเย็นทุกทิศที่เกิดจากกระจกใส 6 มม. จากภาพที่3.2 – ภาพที่3.9 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง เปรียบเทียบเป็นจำนวนร้อยละ.....	50
ภาพที่ 3.11 ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของวัน โดยเลือกเดือนเมษายนที่ร้อนที่สุด และเดือนธันวาคมที่เย็นที่สุด จากตัวแปรค่า U-value ของกระจกใส 6 มม. (U-value = 5.25 W/m ² •K) เปรียบเทียบกับกระจกฉนวน Heat Stop ประเภทหนึ่ง (U-value = 1.91 W/m ² •K) โคนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าสูงสุดของเดือนเมษายน และธันวาคม ของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร.....	52
ภาพที่3.12 แสดงอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยในแต่ละเดือน ตลอดปี 2556 วัดที่สถานีดอนเมือง กรมอุตุนิยมวิทยา [9] (องศาเซลเซียส).....	53
ภาพที่ 3.13 แสดงตัวอย่างการวัด MRT ด้วยวิธีพื้นที่อุณหภูมิ.....	55
ภาพที่ 3.14 แสดงตัวอย่างการวัด MRT ด้วยวิธีมุมอุณหภูมิ ที่จุด A ไกลจากแหล่งความร้อน....	56
ภาพที่ 3.15 แสดงตัวอย่างการวัด MRT ด้วยวิธีมุมอุณหภูมิ ที่จุด B ไกลจากแหล่งความร้อน....	57
ภาพที่ 3.16 แสดงตัวอย่างการวัด MRT ด้วยวิธีมุมอุณหภูมิ ที่จุด C ไกลจากแหล่งความร้อน....	58
ภาพที่4.1 เปรียบเทียบความสว่างของช่องเปิดโล่งที่มีปริมาณแสงสว่างส่องผ่านระหว่างกระจกใส 6 มม. (ซ้าย) ที่มีปริมาณแสงสว่างส่องผ่านร้อยละ 88 กับกระจก Solar control 6 มม. (ขวา) ที่มีปริมาณแสงสว่างส่องผ่านร้อยละ 60.....	62
ภาพที่4.2 โปรแกรมสำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็น หรือค่า RHG ที่คำนวณตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. พัฒนาด้วยโปรแกรม Ms-Excel ver. 2010.....	65
ภาพที่ 4.3 แสดง Short URL และ QR code สำหรับการดาวน์โหลดโปรแกรมการคำนวณ.....	67
ภาพที่ 4.4 แสดงหน้าเว็บเพจสำหรับคลิกเพื่อเริ่มดาวน์โหลด	68
ภาพที่ 4.5 แสดงหน้าเว็บเพจสำหรับใส่รหัสความปลอดภัย.....	68
ภาพที่ 4.6 แสดงรหัสความปลอดภัยที่ต้องใส่ และปุ่มคลิกเพื่อดาวน์โหลด	69
ภาพที่ 4.7 Pop-up เพื่อเลือกเปิดหรือบันทึกโปรแกรมลงในเครื่องคอมพิวเตอร์	69

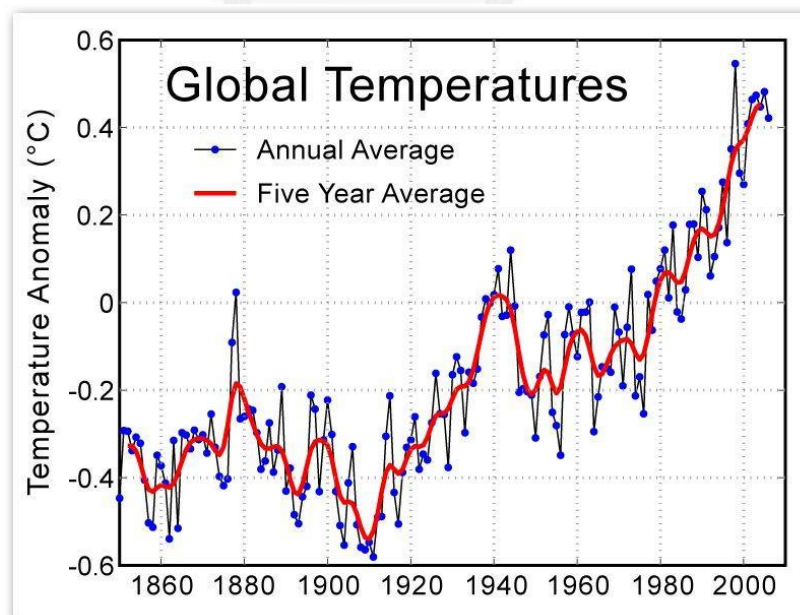
ภาพที่ 4.8 รูปแบบของโปรแกรมบีบอัดไฟล์ที่ต้องใช้ในการเปิดโปรแกรมที่ดาวน์โหลดมาแล้ว.....	70
ภาพที่ 4.9 แสดงช่องสำหรับใส่รหัสสำหรับการยกเลิกการบีบอัด	70
ภาพที่ 4.10 โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาภาระการทำความเย็น หรือค่า RHG ที่คำนวณตามคู่มือ <i>ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals</i> . พัฒนาด้วยโปรแกรม Ms.-Excel ver. 2010. แบ่งเป็น PART A ถึง E	71
ภาพที่ 4.11 แสดงส่วนประกอบ Part A ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น.....	71
ภาพที่ 4.12 แสดงส่วนประกอบ Part ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น.....	72
ภาพที่ 4.13 แสดงส่วนประกอบ Part C ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น.....	72
ภาพที่ 4.14 แสดงส่วนประกอบ Part D ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น	75
ภาพที่ 4.15 แสดงส่วนประกอบ Part E ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น.....	77
ภาพที่ 5.1 แสดงแบบบ้านตัวอย่างรูปด้านหน้า (ด้านที่ 1) [11].....	80
ภาพที่ 5.2 แสดงแบบบ้านตัวอย่างรูปด้านข้าง (ด้านที่ 2) [11].....	80
ภาพที่ 5.3 แสดงแบบบ้านตัวอย่างรูปด้านหลัง (ด้านที่ 3) [11]	81
ภาพที่ 5.4 แสดงแบบบ้านตัวอย่างรูปด้านข้าง (ด้านที่ 4) [11].....	81
ภาพที่ 5.5 แสดงแบบบ้านตัวอย่างผังพื้นที่ (ชั้นที่ 1) [11].....	82
ภาพที่ 5.6 แสดงแบบบ้านตัวอย่างผังพื้นที่ (ชั้นที่ 2) [11].....	83
ภาพที่ 5.7 แสดงแบบบ้านตัวอย่างผังพื้นที่ (ชั้นที่ 3) [11].....	84
ภาพที่ 5.8 แสดงแบบบ้านตัวอย่างหลังคา [11].....	85
ภาพที่ 5.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของช่องว่างอากาศ [12].....	92
ภาพที่ 5.10 การออกแบบให้มีช่องอากาศขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้เกิดสภาวะเรือนกระจกได้ [13].....	93

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จำนวนประชากรโลกมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี และประเทศไทยเองก็มีอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรเช่นเดียวกัน จากรายงาน East Asia and the Pacific Update, The World Bank เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2557 พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไทยอยู่ที่ร้อยละ 0.3 จากจำนวนประชากร 66.8 ล้านคน [1] ซึ่งคิดเป็นจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นโดยประมาณ 200,400 คนต่อปี ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นจำนวนประชากรไทยหรือจำนวนประชากรโลกเองก็ตามที่เพิ่มขึ้นนั้นย่อมส่งผลอย่างแน่นอนในการที่จะเพิ่มปริมาณการบริโภคทรัพยากรโลกต่างๆ รวมถึงสร้างผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งทำให้สภาพแวดล้อมในปัจจุบันนั้นเปลี่ยนไปอย่างมากจากสมัยอดีต โดยอุณหภูมิกอากาศเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สามารถบ่งชี้ได้อย่างชัดเจน จากข้อมูลจากเว็บไซต์ www.newscientist.com [2] นั้นพบว่าอุณหภูมิกอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะ 50 ปีที่ผ่านมา เป็นสาเหตุที่บ่งชี้ได้อย่างชัดเจนว่าสภาพแวดล้อมในปัจจุบันนั้นมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากสมัยอดีตอย่างมากไม่ว่าในแต่ในประเทศไทยเองก็ตาม



ภาพที่ 1.1 ข้อมูลอุณหภูมิที่แตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยย้อนหลังประมาณ 150 ปี [2]

แต่ทว่าการออกแบบอาคารในยุคปัจจุบัน ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการอยู่อาศัยของมนุษย์ได้อีกต่อไป ไม่เหมือนกับสมัยอดีตที่สภาพแวดล้อมนั้นยังเหมาะสมกับการอาศัยอยู่ภายนอกอาคารได้ จึงสามารถใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมได้มาก อาคารเช่นบ้านทรงไทย จึงไม่ต้องใช้วัสดุคลุมอาคารที่มีค่านวนสูง สามารถออกแบบบ้านทรงไทยให้มีลักษณะเปิดโล่ง สามารถช่วยให้อิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกที่ดีไหลผ่านสู่ภายในบ้านได้อย่างมาก แต่ในปัจจุบันที่สภาพแวดล้อมภายนอกไม่เหมาะสมกับการอยู่อาศัยแล้วนั้น อาคารในปัจจุบันจึงควรที่จะมีการปรับสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้เหมาะสมแทน แต่อาคารในปัจจุบันกลับออกแบบโดยเปิดช่องเปิดของอาคารมากขึ้น เช่นตึกสูงที่มีการใช้กระจกคลุมอาคารทั้งหลัง หรือบ้านเดี่ยวที่มีการเปิดช่องเปิดด้วยกระจกจากพื้นถึงเพดานมากขึ้น แม้ว่าปัจจุบันมีการใช้กระจกเข้ามาแทนที่ประตูหรือหน้าต่างแบบเปิดโล่งในสมัยก่อน เพื่อปิดกั้นสภาวะแวดล้อมภายในอาคารจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่ไม่ดีแล้วนั้น แต่พลังงานความร้อนยังสามารถผ่านเข้ามาสู่ภายในอาคารได้และเป็นค่าที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไปในการปรับอากาศที่มากตามไปด้วย เกิดการใช้พลังงานที่มากขึ้นจนส่งผลกระทบต่อกลับไปสู่สภาพแวดล้อมต่อไปเป็นปรากฏการณ์ลูกโซ่



ภาพที่ 1.2 แสดงอาคารในปัจจุบันที่มีการใช้กระจกเป็นส่วนประกอบผนังอาคารจำนวนมาก [3]

การออกแบบกระจกอย่างถูกต้องจึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการที่จะช่วยลดการใช้พลังงานและรักษาสภาพแวดล้อมให้คงอยู่ได้ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันนั้นคือความรู้เรื่องกระจกยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างถูกต้องและเข้าถึงกับบุคคลทั่วไป รวมถึงนักออกแบบเองด้วยเช่นกัน เนื่องจากความรู้ในเรื่องค่าคุณสมบัติต่างๆของกระจกนั้น อาจจะเป็นเรื่องที่ยากในการศึกษาทำความเข้าใจลงไป รายละเอียด อีกทั้งคุณสมบัติต่างๆยังต้องวิเคราะห์ร่วมกันหลายๆด้านเพื่อให้การออกแบบกระจกนั้นถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งานซึ่งก็แตกต่างกันหลากหลายอย่างมากเช่นเดียวกัน

Performance Data																		
Product No.	Product Name	Color	Glass Thickness (mm)	OPTICAL PERFORMANCE										THERMAL PERFORMANCE			SC	STC
				Visible Light (%)			Solar Energy (%)			UV (%)	Ke= LT SC	RHG		U-value				
				T	R		T	R _{tot}	A			W/m ²	Btu/h-ft ²	W/m ² ·K	Btu/h-ft ² ·F			
					out	in												
5106063	FL6	Clear	6.00	88	8	8	80	7	13	66	91.7	649.49	205.93	5.25	0.92	0.96	31	
5106071	FL6 EGN	Green	6.00	76	7	7	44	6	50	28	110.1	474.50	150.44	5.25	0.92	0.69	31	
2302185	6.38 E-061	Clear	6.38	83	10	11	68	10	22	<1	100.0	542.52	172.01	2.80	0.49	0.83	33	
2303166	6.38 SE-061	Light Grey	6.38	59	7	9	42	7	51	<1	98.3	397.69	126.09	2.81	0.49	0.60	33	
3103220	SPACE-LITE 6/12AAS/6	Clear	24.00	78	14	14	65	12	23	51	92.9	553.83	175.60	2.84	0.50	0.84	35	
3103216	SPACE-LITE 6EACL/12AAS/6	Clear	24.00	73	15	16	54	13	33	38	101.4	468.43	148.52	1.91	0.34	0.72	35	
3103286	SPACE-LITE 6SE/12AAS/6	Light Grey	24.00	53	10	15	36	9	55	34	101.9	342.18	108.49	1.92	0.34	0.52	35	
3103461	SPACE-LITE 6.38 E-061/12AAS/33.1	Clear	24.76	74	15	16	55	13	32	<1	101.4	474.13	150.33	1.90	0.33	0.73	41	
3103462	SPACE-LITE 6.38 SE-061/12AAS/33.1	Light Grey	24.76	53	10	15	35	9	56	<1	106.0	332.47	105.41	1.91	0.34	0.50	41	
2102317	LAMI-LITE 33.1(464)	Blue Green	6.38	72	6	6	68	7	25	<1	82.8	588.73	186.66	5.18	0.91	0.87	33	
5106075	FL6 EACL	Clear	6.00	82	10	11	66	10	24	49	101.2	532.20	168.74	2.79	0.49	0.81	31	
5106065	FL6 SE	Light Grey	6.00	60	8	9	44	7	49	44	98.4	406.20	128.79	2.83	0.50	0.61	31	
5106073	FL6 EGY	Grey	6.00	45	5	5	44	5	51	25	66.2	472.72	149.88	5.25	0.92	0.68	31	
5106089	FL6 REAVGN	Green	6.00	48	16	27	23	8	69	7	111.6	292.22	92.65	3.01	0.53	0.43	31	
5106129	FL6 REACL	Clear	6.00	66	25	28	58	19	23	30	91.7	476.19	150.98	3.01	0.53	0.72	31	

ภาพที่ 1.3 ตัวอย่างค่าคุณสมบัติของกระจก [4] ซึ่งยากที่จะศึกษาและนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

อาคารแต่ละประเภทนั้นจะมีรูปแบบและการใช้งานอาคารที่แตกต่างกันไป ซึ่งการออกแบบที่ดั้นนั้นไม่เพียงแต่จะคำนึงถึงเพียงรูปแบบอาคารเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ควรวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารเหล่านั้นด้วยว่าได้รับความสบายต่อการใช้งานภายในอาคารนั้นมากน้อยอย่างไร ซึ่งในปัจจุบันการออกแบบส่วนมากนั้นเน้นปรับสภาพเพียงภาระการทำความเย็นให้กับตัวอาคาร หรือ อุณหภูมิภายในที่จะเกิดขึ้นเท่านั้น ไม่ได้วิเคราะห์รวมถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดภาวะน่าสบายของผู้อยู่อาศัย ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของค่าเฉลี่ยพื้นผิวภายในโดยรอบของอาคาร ค่าความเร็วลมภายในตัวอาคาร ค่าความชื้น กิจกรรมต่างๆ หรือรูปแบบของการอยู่อาศัย

ดังนั้นแล้วน่าจะมีเครื่องมือเพื่อช่วยในการออกแบบกระจกให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานอาคารและผู้อยู่อาศัย ซึ่งมีส่วนอย่างมากที่จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานไปในการปรับอากาศ อีกทั้งยังได้รับความคุ้มค่าและคุ้มค่าจากการเลือกใช้ที่ถูกต้องด้วย และน่าจะมีประโยชน์อย่างมากกับพลังงานที่ยั่งยืนในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของกระจกที่มีผลกระทบต่อภาระการทำความเย็น
- 1.2.2 วิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้กระจก
- 1.2.3 สร้างเครื่องมือและหาแนวทางสำหรับการเลือกใช้กระจกที่เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากกระจก

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษากระจกที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วไปในประเทศไทย
- 1.3.2 ศึกษาการคำนวณภาระการทำความเย็นอ้างอิงตาม *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*.

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติของกระจกที่มีผลต่อการคำนวณหาภาระการทำความเย็น
 - ศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านกระจกเข้าสู่อาคารตามคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. โดยวิเคราะห์ว่าต้องจำเป็นต้องใช้คุณสมบัติใดของกระจกบ้างในการคำนวณภาระการทำความเย็น
 - ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของกระจก ที่มีผลต่อภาระการทำความเย็น โดยนำตารางคุณสมบัติของกระจกจากผู้ผลิตมาใช้วิเคราะห์ว่าคุณสมบัติใดนำไปใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็น
- 1.4.2 วิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย ว่าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้กระจก
 - วิเคราะห์ตัวแปรของสภาวะน่าสบายที่มีความสัมพันธ์กับภาระการทำความเย็นหรือสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้กระจกได้ ซึ่งทั้ง 6 ตัวแปรซึ่งได้แก่

1. อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)

2. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
3. ความเร็วลม (Air Velocity)
4. อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)
5. ลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-value)
6. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism rate)

1.4.3 สร้างเครื่องมือและแนวทางการเลือกใช้กระจก จากการคำนวณภาระการทำความเย็น และจากการวิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย

- นำความรู้เรื่องการคำนวณภาระการทำความเย็นและแนวทางการเลือกใช้กระจก มาจัดทำเครื่องมือด้วยโปรแกรม Ms. Excel. ให้สามารถใช้งานได้ง่ายและนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นที่จะเกิดขึ้นได้

- ทดลองใช้ เครื่องมือช่วยในการเลือกใช้กระจกกับตัวอย่างที่เลือก
- นำผลมาวิเคราะห์ เพื่อปรับปรุงแก้ไข และประยุกต์ใช้ ให้เกิดความคุ้มค่า
- วิเคราะห์ผลงานวิจัย ความคุ้มค่าของงานวิจัยที่ได้รับ อภิปรายผลงานวิจัย
- สรุปผลงานวิจัยให้มีเครื่องมือและแนวทางที่สามารถหาจุดเหมาะสมในการเลือกใช้กระจก โดยวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็น ซึ่งรวมแนวทางการเลือกใช้จากจากการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายร่วมด้วย

- รายงานผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบถึงคุณสมบัติข้อดีของกระจกที่มีผลกระทบกับภาระการทำความเย็น
- 1.5.2 มีแนวทางการเลือกกระจก ซึ่งวิเคราะห์ถึงสภาวะน่าสบายร่วมด้วย
- 1.5.3 ได้เครื่องมือในการเลือกใช้กระจก ซึ่งสามารถแสดงถึงแนวทางการเลือกใช้กระจกที่วิเคราะห์ถึงสภาวะน่าสบายร่วมด้วย

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณภาระการทำความเย็นตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989: Fundamentals.

หลักการถ่ายเทความร้อนทางอุณหพลศาสตร์ เมื่อวัสดุใดๆ นั้นเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้น อุณหภูมิจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ ด้วยรูปแบบการถ่ายเทความร้อนใน 3 รูปแบบ ซึ่งได้แก่ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ซึ่งการถ่ายเทความร้อนของวัสดุใดๆ นั้น สามารถเกิดได้จากหลายๆ วิธีพร้อมๆ กันและกระบวนการการถ่ายเทความร้อนจะดำเนินการไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดสมดุลความร้อน (Thermal Equilibrium) คือ การที่อุณหภูมิทั้งสองจุดนั้นเท่ากันแล้ว ซึ่งตามหลักการคำนวณหาภาระการทำความเย็นของอาคารตาม ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] นั้นได้ระบุไว้ดังนี้

2.1.1 ภาระการทำความเย็นจากภายนอกอาคารผ่านหลังคา

สามารถหาได้จากสมการการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำผ่านทางวัสดุหลังคา ตามสมการการนำความร้อนทั่วไปของวัสดุที่บ่งชี้ดังนี้

$$Q_{(\text{roof})} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{สมการที่ 2.1}) [5]$$

โดย	$Q_{(\text{roof})}$	คือ ภาระการทำความเย็นจากภายนอกผ่านหลังคา (Btu/h)
	U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Btu/h·ft ² ·°F)
	A	คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อน (ft ²)
	ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิสูงลบด้วยอุณหภูมิต่ำ (°F)

ปรับเปลี่ยนผลต่างของอุณหภูมิจาก ΔT ไปเป็น CLTD (Cooling Load Temperature Difference) ซึ่งเป็นผลต่างของอุณหภูมิที่มีการเก็บข้อมูลไว้แล้ว แต่สามารถปรับแก้ให้เหมาะสมกับพื้นที่ตั้งที่ต้องการออกแบบ ช่วงเวลาที่ต้องการออกแบบ อุณหภูมิภายนอกและภายในที่ต้องการออกแบบ รูปแบบของลักษณะภายในอาคารบางประการ ซึ่งหลังจากปรับแต่งผลต่างของอุณหภูมิแล้ว ได้สมการดังต่อไปนี้

Table 27 Summary of Cooling Load Calculation Procedures by CLTD/CLF Method	
External	
Roof	$q = UA \text{ (CLTD)} \quad (48)$ <p>U = roof design heat transfer coefficients in Chapter 22, Table 4 A = area calculated from building plans CLTD = cooling load temperature difference, roofs (base value): Tables 28 and 29</p> <p>Note: Adjust CLTD for (a) latitude-month correction (Table 32), (b) exterior surface color, (c) indoor design temperature, (d) outdoor design temperature, (e) attic conditions, (f) U-Values, and (g) insulation.</p>
Walls	$q = UA \text{ (CLTD)} \quad (48)$ <p>U = wall design heat transfer coefficients in Chapter 22, Table 4 A = area calculated from building plans CLTD = cooling load temperature difference, walls (base value): Tables 30 and 31</p> <p>Note: Adjust CLTD for same factors as roofs.</p>
Glass	$q_{\text{conduction}} = UA \text{ (CLTD)} \quad (44)$ <p>U = design heat transfer coefficients, glass: Chapter 27, Tables 13 and 14 CLTD = cooling load temperature difference, glass (base value): Tables 33</p> <p>Note: Adjust CLTD for (a) inside design temperature, (b) outside design temperature and (c) daily range.</p>
	$q_{\text{solar}} = A(SC)(SHGF)(CLF) \quad (50)$ <p>SC = shading coefficients: Chapter 27, Tables 20 and 26-34, Figures 8-13 and 26 $SHGF$ = maximum solar heat gain by orientation, latitude, and month: Tables 34 and 35 CLF = cooling load factor with no interior shade or with shade: Tables 36 to 39</p>
Partitions, Ceilings, Floors	$q = UA\Delta t \quad (14)$ <p>U = design heat transfer coefficients: Chapter 22, Table 4 A = areas calculated from building plans Δt = design temperature difference, unconditioned area to room</p>
Internal	
People	$q_{\text{sensible}} = N(\text{Sensible HG})(CLF) \quad (51)$ $q_{\text{latent}} = N(\text{Latent HG}) \quad (52)$ <p>N = number of people in space, from best available source Sensible and latent heat gain from occupancy: Table 3, or Chapter 8; adjust as required CLF = cooling load factor, people, by hours of occupancy: Tables 40 Note: $CLF = 1.0$ with high occupancy density or if cooling off at night.</p>
	<p>Lights</p> $q = (\text{Input})(CLF) \quad (53)$ <p>Input rating from electrical plans or lighting fixture data, Btu/h CLF = cooling load factor, lights, by use schedule and hours since on: Tables 43 to 47 Note 1: a and b coefficients by fixture type, air circulation rate, mass: Tables 41 and 42 Note 2: $CLF = 1.0$ with 24 hour operation, or if cooling off at night.</p>
	<p>Power</p> $q = (\text{Heat Gain})(CLF) \quad (53)$ <p>Heat Gain by Equation (21), (22), or (23), Tables 4 and 5, or manufacturer's data CLF = cooling load factor, power, by use schedule and hours since on: Table 49 Note: $CLF = 1.0$ with 24 hour operation, or if cooling off at night.</p>
	<p>Appliances</p> $q_{\text{sensible}} = (\text{Heat Gain})(CLF) \quad (53)$ <p>Sensible and latent heat gain from appliances: Tables 6-9 or manufacturer's data CLF = cooling load factor, by scheduled hours on and hooded or not: Tables 48 and 49 Note 1: $CLF = 1.0$ with 24 hour operation, or if cooling off at night. Note 2: Set latent heat = 0 if appliance under exhaust hood.</p>
	<p>Ventilation and Infiltration Air</p> $q_{\text{sensible}} = 1.10Q\Delta t \quad (30)$ $q_{\text{latent}} = 4840Q\Delta W \quad (32)$ $q_{\text{total}} = 4.5Q\Delta H \quad (28)$ <p>Q = ventilation cfm: ASHRAE Standard 62; infiltration cfm: Chapter 23 Δt = outside—inside air temperature difference, @ °F ΔW = outside—inside air humidity ratio difference, lb water/lb dry air ΔH = outside—inside air enthalpy difference, Btu/lb dry air</p>

ภาพที่ 2.1 แสดง Table 27 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] ภาพรวมวิธีการคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่เกิดจากอิทธิพลทั้งภายนอกและภายในอาคาร

$$Q_{(\text{roof})} = U \cdot A \cdot \text{CLTD}_{\text{correction}} \quad (\text{สมการที่ 2.2}) [5]$$

โดย $Q_{(\text{roof})}$ คือภาระการทำความเย็นจากภายนอกผ่านหลังคา (Btu/h)
 U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Btu/h·ft²·°F)
 A คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อน (ft²)
 $\text{CLTD}_{\text{correction}}$ คือ CLTD ที่ทำการปรับแก้แล้ว (°F) ได้ตามสมการดังนี้

$$\text{CLTD}_{\text{correction}} = [(\text{CLTD} + \text{LM}) \cdot K + (78 - t_R) + (t_o - 85)] \cdot f \quad (\text{สมการที่ 2.3}) [5]$$

โดย CLTD คือ Cooling Load Temperature Difference จากภาพที่ 2.2, Table 29, ASHRAE 1989 (°F) [5]

- LM คือ Latitude & Month จากภาพที่2.3, Table 32 – ASHRAE 1989 [5]
- K คือ ตัวประกอบการปรับแต่งจากสีของหลังคา ซึ่งมีค่าดังนี้
 = 1.0 สำหรับหลังคาสีเข้ม หรือสีอ่อน
 ซึ่งสถานที่ตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรม
 = 0.5 สำหรับหลังคาสีอ่อน อยู่ในชนบท
- t_R คืออุณหภูมิภายในห้องที่ออกแบบ (°F)
- t_O คือ อุณหภูมิภายนอกที่ออกแบบ (°F)
- f คือ ตัวประกอบการปรับแต่งสำหรับการระบายอากาศบนช่องเหนือฝ้าเพดาน ซึ่งมีค่าดังนี้
 = 1.0 สำหรับการออกแบบที่ไม่มีฝ้าเพดาน หรือการเดินปล่องลม
 = 0.75 สำหรับการออกแบบที่มีท่อลมหรือการระบายอากาศด้านบนเหนือฝ้าเพดาน

Table 29 Cooling Load Temperature Differences (CLTD) for Calculating Cooling Load from Flat Roofs

Roof No	Description of Construction	Weight, lb/ft ²	U-value, Btu/h·ft ² ·°F	Solar Time																								Hour of Day			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	CLTD	Mini- mum	Maxi- mum	Difference
Without Suspended Ceiling																															
1	Steel sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation	7 (8)	0.213 (0.124)	1	-2	-3	-3	-5	-3	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45	30	18	12	8	5	3	14	-5	79	84
2	1-in. wood with 1-in. insulation	8	0.170	6	3	0	-1	-3	-3	-2	4	14	27	39	52	62	70	74	74	70	62	51	38	28	20	14	9	16	-3	74	77
3	4-in. lightweight concrete	18	0.213	9	5	2	0	-2	-3	-3	1	9	20	32	44	55	64	70	73	71	66	57	45	34	25	18	13	16	-3	73	76
4	2-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	29 (0.122)	0.206	12	8	5	3	0	-1	-1	3	11	20	30	41	51	59	65	66	66	62	54	45	36	29	22	17	16	-1	67	68
5	1-in. wood with 2-in. insulation	9	0.109	3	0	-3	-4	-5	-7	-6	-3	5	16	27	39	49	57	63	64	62	57	48	37	26	18	11	7	16	-7	64	71
6	6-in. lightweight concrete	24	0.158	22	17	13	9	6	3	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64	62	57	50	42	35	28	18	1	64	63	
7	2.5-in. wood with 1-in. ins.	13	0.130	29	24	20	16	13	10	7	6	6	9	13	20	27	34	42	48	53	55	56	54	49	44	39	34	19	6	56	50
8	8-in. lightweight concrete	31	0.126	35	30	26	22	18	14	11	9	7	7	9	13	19	25	33	39	46	50	53	54	53	49	45	40	20	7	54	47
9	4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	52 (52)	0.200 (0.120)	25	22	18	15	12	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48	43	38	34	30	18	8	53	45
10	2.5-in. wood with 2-in. ins.	13	0.093	30	26	23	19	16	13	10	9	8	9	13	17	23	29	36	41	46	49	51	50	47	43	39	35	19	8	51	43
11	Roof terrace system	75	0.106	34	31	28	25	22	19	16	14	13	13	15	18	22	26	31	36	40	44	45	46	45	43	40	37	20	13	46	33
12	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	75 (75)	0.192 (0.117)	31	28	25	22	20	17	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	45	44	42	40	37	34	19	14	45	31
13	4-in. wood with 1-in. (or 2-in.) insulation	17 (18)	0.106 (0.078)	38	36	33	30	28	25	22	20	18	17	16	17	18	21	24	28	32	36	39	41	43	43	42	40	22	16	43	27
With Suspended Ceiling																															
1	Steel Sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation	9 (10)	0.134 (0.092)	2	0	-2	-3	-4	-4	-1	9	23	37	50	62	71	77	78	74	67	56	42	28	18	12	8	5	15	-4	78	82
2	1-in. wood with 1-in. ins.	10	0.115	20	15	11	8	5	3	2	3	7	13	21	30	40	48	55	60	62	61	58	51	44	37	30	25	17	2	62	60
3	4-in. lightweight concrete	20	0.134	19	14	10	7	4	2	0	0	4	10	19	29	39	48	56	62	65	64	61	54	46	38	30	24	17	0	65	65
4	2-in. heavyweight concrete with 1-in. insulation	30	0.131	28	25	23	20	17	15	13	13	14	16	20	25	30	35	39	43	46	47	46	44	41	38	35	32	18	13	47	34
5	1-in. wood with 2-in. ins.	10	0.083	25	20	16	13	10	7	5	5	7	12	18	25	33	41	48	53	57	57	56	52	46	40	34	29	18	5	57	52
6	6-in. lightweight concrete	26	0.109	32	28	23	19	16	13	10	8	7	8	11	16	22	29	36	42	48	52	54	54	51	47	42	37	20	7	54	47
7	2.5-in. wood with 1-in. insulation	15	0.096	34	31	29	26	23	21	18	16	15	15	16	18	21	25	30	34	38	41	43	44	44	42	40	37	21	15	44	29
8	8-in. lightweight concrete	33	0.093	39	36	33	29	26	23	20	18	15	14	14	15	17	20	25	29	34	38	42	45	46	45	44	42	21	14	46	32
9	4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) ins.	53 (54)	0.128 (0.090)	30	29	27	26	24	22	21	20	20	21	22	24	27	29	32	34	36	38	38	37	36	34	33	19	20	38	18	
10	2.5-in. wood with 2-in. ins.	15	0.072	35	33	30	28	26	24	22	20	18	18	18	20	22	25	28	32	35	38	40	41	41	40	39	37	21	18	41	23
11	Roof terrace system	77	0.082	30	29	28	27	26	25	24	23	22	22	22	23	25	26	28	29	31	32	33	33	33	33	32	22	22	33	11	
12	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	77 (77)	0.125 (0.088)	29	28	27	26	25	24	23	22	21	21	22	23	25	26	28	30	32	33	34	34	34	34	33	32	21	21	34	13
13	4-in. wood with 1-in. (or 2-in.) insulation	19 (20)	0.082 (0.064)	35	34	33	32	31	29	27	26	24	23	22	21	22	22	24	25	27	30	32	34	35	36	37	36	23	21	37	16

ภาพที่2.2 แสดง Table 29 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] ซึ่งแสดง CLTD สำหรับใช้คำนวณหาภาระการทำความเย็นของหลังคาเรียบ

Lat.	Month	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	HOR
0	Dec	-3	-5	-5	-5	-2	0	3	6	9	-1
	Jan/Nov	-3	-5	-4	-4	-1	0	2	4	7	-1
	Feb/Oct	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	0
	Mar/Sept	-3	0	1	-1	-1	-3	-3	-5	-8	0
	Apr/Aug	5	4	3	0	-2	-5	-6	-8	-8	-2
	May/Jul	10	7	5	0	-3	-7	-8	-9	-8	-4
	Jun	12	9	5	0	-3	-7	-9	-10	-8	-5
8	Dec	-4	-6	-6	-6	-3	0	4	8	12	-5
	Jan/Nov	-3	-5	-6	-5	-2	0	3	6	10	-4
	Feb/Oct	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-1
	Mar/Sept	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	0
	Apr/Aug	2	2	2	0	-1	-4	-5	-7	-7	-1
	May/Jul	7	5	4	0	-2	-5	-7	-9	-7	-2
	Jun	9	6	4	0	-2	-6	-8	-9	-7	-2
16	Dec	-4	-6	-8	-8	-4	-1	4	9	13	-9
	Jan/Nov	-4	-6	-7	-7	-4	-1	4	8	12	-7
	Feb/Oct	-3	-5	-5	-4	-2	0	2	5	7	-4
	Mar/Sept	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	-1
	Apr/Aug	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-6	0
	May/Jul	4	3	3	0	-1	-4	-5	-7	-7	0
	Jun	6	4	4	1	-1	-4	-6	-8	0	-7
24	Dec	-5	-7	-9	-10	-7	-3	3	9	13	-13
	Jan/Nov	-4	-6	-8	-9	-6	-3	9	3	13	-11
	Feb/Oct	-4	-5	-6	-6	-3	-1	3	7	10	-7
	Mar/Sept	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-3
	Apr/Aug	-2	-1	0	-1	-1	-2	-1	-2	-3	0
	May/Jul	1	2	2	0	0	-3	-3	-5	-6	1
	Jun	3	3	3	1	0	-3	-4	-6	-6	1
32	Dec	-5	-7	-10	-11	-8	-5	2	9	12	-17
	Jan/Nov	-5	-7	-9	-11	-8	-15	-4	2	9	12
	Feb/Oct	-4	-6	-7	-8	-4	-2	4	8	11	-10
	Mar/Sept	-3	-4	-4	-4	-2	-1	3	5	7	-5
	Apr/Aug	-2	-2	-1	-2	0	-1	0	1	1	-1
	May/Jul	1	1	1	0	0	-1	-1	-3	-3	1
	Jun	1	2	2	1	0	-2	-2	-4	-4	2
40	Dec	-6	-8	-10	-13	-10	-7	0	7	10	-21
	Jan/Nov	-5	-7	-10	-12	-9	-6	1	8	11	-19
	Feb/Oct	-5	-7	-8	-9	-6	-3	3	8	12	-14
	Mar/Sept	-4	-5	-5	-6	-3	-1	4	7	10	-8
	Apr/Aug	-2	-3	-2	-2	0	0	2	3	4	-3
	May/Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Jun	1	1	1	0	1	0	0	-1	-1	2
48	Dec	-6	-8	-11	-14	-13	-10	-3	2	6	-25
	Jan/Nov	-6	-8	-11	-13	-11	-8	-1	5	8	-24
	Feb/Oct	-5	-7	-10	-11	-8	-5	1	8	11	-18
	Mar/Sept	-4	-6	-6	-7	-4	-1	4	8	11	-11
	Apr/Aug	-3	-3	-3	-3	-1	0	4	6	7	-5
	May/Jul	0	-1	0	0	1	1	3	3	4	0
	Jun	1	1	2	1	2	1	2	2	3	2

ภาพที่ 2.3 แสดง Table 32 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] ซึ่งแสดง CLTD Correction (LM) สำหรับแลตติจูด และเดือนสำหรับหลังคาและผนังในช่วงแลตติจูดเหนือ

2.1.2 ภาระการทำความเย็นจากภายนอกอาคารผ่านผนัง

สามารถหาได้จากสมการการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำผ่านทางวัสดุผนัง ตามสมการการนำความร้อนเช่นเดียวกับสมการที่ 2.1 แต่ทำการปรับเปลี่ยนผลต่างของอุณหภูมิจาก ΔT ไปเป็น CLTD ซึ่งเป็นค่าผลต่างของอุณหภูมิที่มีการปรับแก้ให้เหมาะสมกับพื้นที่ตั้งที่ต้องการออกแบบ ช่วงเวลาที่ต้องการออกแบบ อุณหภูมิภายนอกและภายในที่ต้องการออกแบบ ซึ่งหลังจากปรับแต่งผลต่างของอุณหภูมิแล้วได้สมการดังต่อไปนี้

$$Q_{(wall)} = U \cdot A \cdot CLTD_{\text{correction}} \quad (\text{สมการที่ 2.4}) [5]$$

โดย	$Q_{(wall)}$	คือภาระการทำความเย็นจากภายนอกผ่านผนัง(Btu/h)
	U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Btu/h•ft ² •°F)
	A	คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อน (ft ²)
	$CLTD_{\text{correction}}$	คือ CLTD ที่ทำการปรับเปลี่ยนแล้ว (°F)

$$CLTD_{\text{correction}} = (CLTD + LM) \cdot K + (78 - t_R) + (t_o - 85) \quad (\text{สมการที่ 2.5}) [5]$$

โดย	CLTD	คือ Cooling Load Temperature Difference จากภาพที่2.4, Table 31 – ASHRAE 1989 (°F) [5]
	LM	คือ Latitude & Month จากภาพที่2.3, Table 32 – ASHRAE 1989 [5]
	K	คือ ตัวประกอบการปรับแต่งจากสีของผนัง ซึ่งมีค่าดังนี้ = 1.0 สำหรับผนังสีเข้ม หรือสีอ่อนแต่สถานที่ตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรม = 0.83 สำหรับผนังสีกลาง อยู่ในชนบท = 0.65สำหรับผนังสีอ่อน อยู่ในชนบท
	t_R	คืออุณหภูมิภายในห้องที่ออกแบบ (°F)
	t_o	คือ อุณหภูมิภายนอกที่ออกแบบ (°F)

2.1.3 การระงับการทำความเย็นจากภายนอกอาคารผ่านกระจก

เนื่องจากกระจกเป็นวัสดุที่มีทั้งประเภทที่โปร่งใสและโปร่งแสง ซึ่งยอมให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านทะลุเข้าภายในอาคารได้ ดังนั้นการระงับการทำความเย็นที่ผ่านเข้าภายในอาคารจึงแตกต่างกับวัสดุที่บดบังแสงทั่วไป สามารถแยกได้เป็น 2 รูปแบบคือ

2.1.3.1 การระงับการทำความเย็นจากภายนอกผ่านกระจกด้วยวิธีการนำความร้อน

สามารถหาได้จากสมการการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำผ่านทางวัสดุกระจก คล้ายกับการนำความร้อนผ่านผนังและหลังคา ตามสมการการนำความร้อนเช่นเดียวกับสมการที่ 2.1 แต่ทำการปรับเปลี่ยนผลต่างของอุณหภูมิจาก ΔT ไปเป็น CLTD ซึ่งเป็นค่าพื้นฐานตามภาพที่ 2.5 Table-33, *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. ซึ่งหลังจากปรับแต่งผลต่างของอุณหภูมิแล้วได้สมการดังต่อไปนี้

$$Q_{\text{(conduct)}} = U \cdot A \cdot \text{CLTD}_{\text{correction}} \quad (\text{สมการที่ 2.6}) [5]$$

โดย	$Q_{\text{(conduct)}}$	คือ การระงับการทำความเย็นจากภายนอกผ่านกระจกด้วยการนำ (Btu/h)
	U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก (Btu/h·ft ² ·°F)
	A	คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อน (ft ²)
	$\text{CLTD}_{\text{correction}}$	คือ CLTD ที่ทำการปรับเปลี่ยนแล้ว (°F) ตามสมการที่ 2.7

ดังนั้น

$$\text{CLTD}_{\text{correction}} = (\text{CLTD}) + (78 - t_R) + (t_o - 85) \quad (\text{สมการที่ 2.7}) [5]$$

โดย	CLTD	คือ Cooling Load Temperature Difference จากภาพที่ 2.5, Table 33, ASHRAE 1989 [5]
	t_R	คือ อุณหภูมิภายในห้องที่ออกแบบ (°F)
	t_o	คือ อุณหภูมิภายนอกที่ออกแบบ (°F)

2.1.3.2 ภาระการทำความเย็นจากภายนอกผ่านกระจกด้วยวิธีการแผ่รังสีอาทิตย์

เป็นภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการเปลี่ยนความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามาภายในอาคาร เมื่อแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นสั้นนั้นส่องมากระทบผิวกระจก ความยาวคลื่นสั้นนั้นทำให้แสงอาทิตย์สามารถทะลุผ่านกระจกเข้ามาได้ แต่เมื่อผ่านเข้ามากระทบกับวัสดุที่บดแสงภายในอาคาร ทำให้แสงอาทิตย์เปลี่ยนจากความคลื่นสั้นเป็นความยาวคลื่นที่ยาวกว่า หรือเป็นช่วงคลื่นความร้อน (Near Infrared) ซึ่งไม่สามารถทะลุผ่านกระจกกลับออกไปได้ เกิดเป็นความร้อนสะสมอยู่ในอาคาร ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$Q_{(\text{solar})} = A \cdot \text{SHGF} \cdot \text{SC} \cdot \text{CLF} \quad (\text{สมการที่ 2.8}) [5]$$

โดย	$Q_{(\text{solar})}$	คือ ภาระการทำความเย็นจากการแผ่รังสีอาทิตย์(Btu/h)
	A	คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อน (ft ²)
	SHGF	คือ Maximum Solar Heat Gain (Btu/h•ft ²) จากภาพที่2.6 สำหรับกระจกที่โดนแดด และภาพที่2.7 สำหรับกระจกที่มีการบังเงา, Table 34 & 35, ASHRAE 1989
	SC	คือ สัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจกแต่ละชนิด (Unit less)
	CLF	คือ Cooling load factor (Unit less) จากภาพที่2.8 – ภาพที่ 2.11 สำหรับอาคารที่มีการตกแต่งภายในรูปแบบต่างๆ, Table 36 – 39, ASHRAE 1989 [5]

Table 31 Cooling Load Temperature Differences for Calculating Cooling Load from Sunlit Walls

North Latitude Wall Facing	Solar Time, h																Hr of Maxi- mum CLTD	Mini- mum CLTD	Maxi- mum CLTD	Diff- erence CLTD									
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600					1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	
Group A Walls																													
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14	4	
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	20	22	15	20	3
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	25	22	18	25	7
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24	24	22	18	24	6
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	20	23	14	20	6
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	17	17	18	19	20	22	23	24	24	24	24	24	24	17	25	8
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	1	18	27	9	
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	1	14	21	7	
Group B Walls																													
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	8	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15	7	
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20	21	12	21	9	
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	24	20	15	27	12	
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24	21	14	26	12	
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21	23	11	22	11	
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	28	24	13	28	15	
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30	24	14	30	16	
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15	17	19	21	22	23	23	24	11	23	9	
Group C Walls																													
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	8	7	7	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16	22	7	17	10
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	22	23	23	23	23	23	22	21	20	20	10	23	11
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	24	18	12	30	11	
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	29	28	27	26	24	19	12	29	17	
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	25	24	22	20	9	26	17	
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	33	32	31	22	11	33	22	
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	32	22	12	35	23	
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	26	22	10	27	17		
Group D Walls																													
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	9	10	12	13	15	17	18	19	19	19	18	16	21	6	19	13
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18	19	7	25	11	
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	16	8	33	25	
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22	17	8	32	24	
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	19	6	29	23	
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	21	8	38	36	
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	21	9	41	32	
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	22	7	32	25	
Group E Walls																													
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	20	3	22	11	
NE	13	11	9	7	6	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	25	24	22	19	17	15	16	4	26	22		
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	17	13	5	38	31	
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17	15	5	37	31	
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17	17	3	34	31	
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26	19	5	45	40	
W	25	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29	20	6	49	43	
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24	20	5	38	33	
Group F Walls																													
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	25	20	16	13	11	19	1	23	20	
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	11	1	30	28	
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	12	2	45	43	
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12	13	2	43	41	
S	10	8	6	4	3	2	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	16	1	39	38		
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	23	18	18	2	53	48	
W	17	13	10	7	5	4	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	19	3	60	57		
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	43	35	28	22	18	19	2	46	44	
Group G Walls																													
N	3	2	1	0	-1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	18	-1	26	27	
NE	3	2	1	0	-1	9	27	36	39	35	30	26	26	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	5	9	-1	39	40	
E	4	2	1	0	-1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6	10	-1	55	54	
SE	4	2	1	0	-1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	32	30	27	24	19	15	12	10	8	6	11	-1	51	51	
S	4	2	1	0	-1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5	14	-1	46	47	
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	8	16	0	63	63	
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8	17	1	72	71	
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	11	15	18	21	27	37	47	55	55	41	25	17	13	10	7	18	0	55	55	

ภาพที่ 2.4 แสดง Table 31 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] ซึ่งแสดง CLTD สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของผนัง

Table 33 Cooling Load Temperature Differences (CLTD) for Conduction Through Glass

Solar time, h	CLTD °F	Solar time, h	CLTD °F
0100	1	1300	12
0200	0	1400	13
0300	-1	1500	14
0400	-2	1600	14
0500	-2	1700	13
0600	-2	1800	12
0700	-2	1900	10
0800	0	2000	8
0900	2	2100	6
1000	4	2200	4
1100	7	2300	3
1200	9	2400	2

ภาพที่ 2.5 แสดง Table 33 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง CLTD สำหรับการถ่ายเทความร้อนของกระจก

Table 34 Maximum Solar Heat Gain Factor, Btu/h·ft² for Sunlit Glass, North Latitudes

0° N Lat										
	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	34	34	88	177	234	254	235	182	118	296
Feb.	36	39	132	205	245	247	210	141	67	306
Mar.	38	87	170	223	242	223	170	87	38	303
Apr.	71	134	193	224	221	184	118	38	37	284
May	113	164	203	218	201	154	80	37	37	265
June	129	173	206	212	191	140	66	37	37	255
July	115	164	201	213	195	149	77	38	38	260
Aug.	75	134	187	216	212	175	112	39	38	276
Sept.	40	84	163	213	231	213	163	84	40	293
Oct.	37	40	129	199	236	238	202	135	66	299
Nov.	35	35	88	175	230	250	230	179	117	293
Dec.	34	34	71	164	226	253	240	196	138	288

4° N Lat										
	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	33	33	79	170	229	252	237	193	141	286
Feb.	35	35	123	199	242	248	215	152	88	301
Mar.	38	77	163	219	242	227	177	96	43	302
Apr.	55	125	189	223	223	190	126	43	38	287
May	93	154	200	220	206	161	89	38	38	272
June	110	164	202	215	196	147	73	38	38	263
July	96	154	197	215	200	156	85	39	38	267
Aug.	59	124	184	215	214	181	120	42	40	279
Sept.	39	75	156	209	231	216	170	93	44	293
Oct.	36	36	120	193	234	239	207	148	86	294
Nov.	34	34	79	168	226	248	232	190	139	284
Dec.	33	33	62	157	221	250	242	206	160	277

ภาพที่ 2.6 แสดง Table 34 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง SHGF สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกโดนแดด

8° N Lat										
	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	32	32	71	163	224	250	242	203	162	275
Feb.	34	34	114	193	239	248	219	165	110	294
Mar.	37	67	156	215	241	230	184	110	55	300
Apr.	44	117	184	221	225	195	134	53	39	289
May	74	146	198	220	209	167	97	39	38	277
June	90	155	200	217	200	141	82	39	39	269
July	77	145	195	215	204	162	93	40	39	272
Aug.	47	117	179	214	216	186	128	51	41	282
Sep.	38	66	149	205	230	219	176	107	56	290
Oct.	35	35	112	187	231	239	211	160	108	288
Nov.	33	33	71	161	220	245	233	200	160	273
Dec.	31	31	55	149	215	246	247	215	179	265

12° N Lat										
	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	31	31	63	155	217	246	247	212	182	262
Feb.	34	34	105	186	235	248	226	177	133	286
Mar.	36	58	148	210	240	233	190	124	73	297
Apr.	40	108	178	219	227	200	142	64	40	290
May	60	139	194	220	212	173	106	40	40	280
June	75	149	198	217	204	161	90	40	40	274
July	63	139	191	215	207	168	102	41	41	275
Aug.	42	109	174	212	218	191	135	62	142	282
Sep.	37	57	142	201	229	222	182	121	73	287
Oct.	34	34	103	180	227	238	219	172	130	280
Nov.	32	32	63	153	214	241	243	209	179	260
Dec.	30	30	47	141	207	242	251	223	197	250

16° N Lat										
	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	30	30	55	147	210	244	251	223	199	248
Feb.	33	33	96	180	231	247	233	188	154	275
Mar.	35	53	140	205	239	235	197	138	93	291
Apr.	39	99	172	215	227	204	150	77	43	289
May	52	132	189	218	215	179	115	45	41	282
June	66	142	194	217	207	167	99	41	41	277
July	55	132	187	214	210	174	111	44	42	277
Aug.	41	100	168	209	219	196	143	74	46	282
Sep.	36	50	134	196	227	224	191	134	93	282
Oct.	33	33	95	174	223	237	225	183	150	270
Nov.	30	30	55	145	206	241	247	220	196	246
Dec.	29	29	41	132	198	241	254	233	212	234

ภาพที่ 2.6 แสดง Table 34 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง SHGF สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกโดนแดด (ต่อ)

20° N Lat										
	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	29	29	48	138	201	243	253	233	214	232
Feb.	31	31	88	173	226	244	238	201	174	263
Mar.	34	49	132	200	237	236	206	152	115	284
Apr.	38	92	166	213	228	208	158	91	58	287
May	47	123	184	217	217	184	124	54	42	283
June	59	135	189	216	210	173	108	45	42	279
July	48	124	182	213	212	179	119	53	43	278
Aug.	40	91	162	206	220	200	152	88	57	280
Sep.	36	46	127	191	225	225	199	148	114	275
Oct.	32	32	87	167	217	236	231	196	170	258
Nov.	29	29	48	136	197	239	249	229	211	230
Dec.	27	27	35	122	187	238	254	241	226	217

24° N. Lat										
	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	27	27	41	128	190	240	253	241	227	214
Feb.	30	30	80	165	220	244	243	213	192	249
Mar.	34	45	124	195	234	237	214	168	137	275
Apr.	37	88	159	209	228	212	169	107	75	283
May	43	117	178	214	218	190	132	67	46	282
June	55	127	184	214	212	179	117	55	43	279
July	45	116	176	210	213	185	129	65	46	278
Aug.	38	87	156	203	220	204	162	103	72	277
Sep.	35	42	119	185	222	225	206	163	134	266
Oct.	31	31	79	159	211	237	235	207	187	244
Nov.	27	27	42	126	187	236	249	237	224	213
Dec.	26	26	29	112	180	234	247	247	237	199

ภาพที่ 2.6 แสดง Table 34 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง SHGF สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกโดนแดด (ต่อ)

28° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	25	25	35	117	183	235	251	247	238	196
Feb.	29	29	72	157	213	244	246	224	207	234
Mar.	33	41	116	189	231	237	221	182	157	265
Apr.	36	84	151	205	228	216	178	124	94	278
May	40	115	172	211	219	195	144	83	58	280
June	51	125	178	211	213	184	128	68	49	278
July	41	114	170	208	215	190	140	80	57	276
Aug.	38	83	149	199	220	207	172	120	91	272
Sep.	34	38	111	179	219	226	213	177	154	256
Oct.	30	30	71	151	204	236	238	217	202	229
Nov.	26	26	35	115	181	232	247	243	235	195
Dec.	24	24	24	99	172	227	248	251	246	179

32° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	24	24	29	105	175	229	249	250	246	176
Feb.	27	27	65	149	205	242	248	232	221	217
Mar.	32	37	107	183	227	237	227	195	176	252
Apr.	36	80	146	200	227	219	187	141	115	271
May	38	111	170	208	220	199	155	99	74	277
June	44	122	176	208	214	189	139	83	60	276
July	40	111	167	204	215	194	150	96	72	273
Aug.	37	79	141	195	219	210	181	136	111	265
Sept.	33	35	103	173	215	227	218	189	171	244
Oct.	28	28	63	143	195	234	239	225	215	213
Nov.	24	24	29	103	173	225	245	246	243	175
Dec.	22	22	22	84	162	218	246	252	252	158

36° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	22	22	24	90	166	219	247	232	232	155
Feb.	26	26	57	139	195	239	248	239	232	199
Mar.	30	33	99	176	223	238	232	209	172	236
Apr.	35	76	144	196	225	221	196	156	135	267
May	38	107	168	204	220	204	165	116	93	272
June	47	118	175	205	215	194	150	99	77	273
July	39	107	165	201	216	199	161	113	90	268
Aug.	36	75	138	190	218	212	189	151	131	257
Sep.	31	31	95	167	210	228	223	200	187	230
Oct.	27	27	56	133	187	230	239	231	225	195
Nov.	22	22	24	87	163	215	243	248	248	154
Dec.	20	20	20	69	151	204	241	253	254	136

ภาพที่ 2.6 แสดง Table 34 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง SHGF สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกโดนแดด (ต่อ)

40° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	20	20	20	74	154	205	241	252	254	133
Feb.	24	24	50	129	186	234	246	244	241	180
Mar.	29	29	93	169	218	238	236	216	206	223
Apr.	34	71	140	190	224	223	203	170	154	252
May	37	102	165	202	220	208	175	133	113	265
June	48	113	172	205	216	199	161	116	95	267
July	38	102	163	198	216	203	170	129	109	262
Aug.	35	71	135	185	216	214	196	165	149	247
Sep.	30	30	87	160	203	227	226	209	200	215
Oct.	25	25	49	123	180	225	238	236	234	177
Nov.	20	20	20	73	151	201	237	248	250	132
Dec.	18	18	18	60	135	188	232	249	253	113

44° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	17	17	17	64	138	189	232	248	252	109
Feb.	22	22	43	117	178	227	246	248	247	160
Mar.	27	27	87	162	211	236	238	224	218	206
Apr.	33	66	136	185	221	224	210	183	171	240
May	36	96	162	201	219	211	183	148	132	257
June	47	108	169	205	215	203	171	132	115	261
July	37	96	159	198	215	206	179	144	128	254
Aug.	34	66	132	180	214	215	202	177	165	236
Sep.	28	28	80	152	198	226	227	216	211	199
Oct.	23	23	42	111	171	217	237	240	239	157
Nov.	18	18	18	64	135	186	227	244	248	109
Dec.	15	15	15	49	115	175	217	240	246	89

ภาพที่ 2.6 แสดง Table 34 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง SHGF สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกโดนแดด (ต่อ)

48° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	15	15	15	53	118	175	216	239	245	85
Feb.	20	20	36	103	168	216	242	249	250	138
Mar.	26	26	80	154	204	234	239	232	228	188
Apr.	31	61	132	180	219	225	215	194	186	226
May	35	97	158	200	218	214	192	163	150	247
June	46	110	165	204	215	206	180	148	134	252
July	37	96	156	196	214	209	187	158	146	244
Aug.	33	61	128	174	211	216	208	188	180	223
Sep.	27	27	72	144	191	223	228	223	220	182
Oct.	21	21	35	96	161	207	233	241	242	136
Nov.	15	15	15	52	115	172	212	234	240	85
Dec.	13	13	13	36	91	156	195	225	233	65

52° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	13	13	13	39	92	155	193	222	230	62
Feb.	18	18	29	85	156	202	235	247	250	115
Mar.	24	24	73	145	196	230	239	238	236	169
Apr.	30	56	128	177	215	224	220	204	199	211
May	34	98	154	198	217	217	199	175	167	235
June	45	111	161	202	214	210	188	162	152	242
July	36	97	152	194	213	212	195	171	163	233
Aug.	32	56	124	169	208	216	212	197	193	208
Sep.	25	25	65	136	182	218	228	228	227	163
Oct.	19	19	28	80	148	192	225	238	240	114
Nov.	13	13	13	39	90	152	189	217	225	62
Dec.	10	10	10	19	73	127	172	199	209	42

56° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	10	10	10	21	74	126	169	194	205	40
Feb.	16	16	21	71	139	184	223	239	241	91
Mar.	22	22	65	136	185	224	238	241	241	149
Apr.	28	58	123	173	211	223	223	213	210	195
May	36	99	149	195	215	218	206	187	181	222
June	53	111	160	199	213	213	196	174	168	231
July	37	98	147	192	211	214	201	183	177	221
Aug.	30	56	119	165	203	216	215	206	203	193
Sep.	23	23	58	126	171	211	227	230	231	144
Oct.	16	16	20	68	132	176	213	229	234	91
Nov.	10	10	10	21	72	122	165	190	200	40
Dec.	7	7	7	7	47	92	135	159	171	23

ภาพที่ 2.6 แสดง Table 34 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง SHGF สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกโดนแดด (ต่อ)

60° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	7	7	7	7	46	88	130	152	164	21
Feb.	13	13	13	58	118	168	204	225	231	68
Mar.	20	20	56	125	173	215	234	241	242	128
Apr.	27	59	118	168	206	222	225	220	218	178
May	43	98	149	192	212	220	211	198	194	208
June	58	110	162	197	213	215	202	186	181	217
July	44	97	147	189	208	215	206	193	190	207
Aug.	28	57	114	161	199	214	217	213	211	176
Sep.	21	21	50	115	160	202	222	229	231	125
Oct.	14	14	14	56	111	159	193	215	221	67
Nov.	7	7	7	7	45	86	127	148	160	22
Dec.	4	4	4	4	16	51	76	100	107	9

64° N. Lat										
	N (Shade)	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	3	3	3	3	15	45	67	89	96	8
Feb.	11	11	11	43	89	144	177	202	210	45
Mar.	18	18	47	113	159	203	226	236	239	105
Apr.	25	59	113	163	201	219	225	225	224	160
May	48	97	150	189	211	220	215	207	204	192
June	62	114	162	193	213	216	208	196	193	203
July	49	96	148	186	207	215	211	202	200	192
Aug.	27	58	109	157	193	211	217	217	217	159
Sept.	19	19	43	103	148	189	213	224	227	101
Oct.	11	11	11	40	83	135	167	191	199	46
Nov.	4	4	4	4	15	44	66	87	93	8
Dec.	0	0	0	0	1	5	11	14	15	1

ภาพที่ 2.6 แสดง Table 34 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง SHGF สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกโดนแดด (ต่อ)

Table 35 Maximum Solar Heat Gain Factor (SHGF) for Externally Shaded Glass, Btu/h·ft² (Based on Ground Reflectance of 0.2)

Use for latitudes 0 to 24 deg.

For latitudes greater than 24, use north orientation, Table 34.

For horizontal glass in shade, use the tabulated values for all latitudes.

	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	(All Lat.) HOR
Jan.	31	31	31	32	34	36	37	37	38	46
Feb.	34	34	34	35	36	37	38	38	39	46
Mar.	6	36	37	38	39	40	40	39	39	49
Apr.	40	40	41	42	42	42	41	40	40	44
May	43	44	45	46	45	43	41	40	40	48
June	45	46	47	47	46	44	41	40	40	51
July	45	45	46	47	47	45	42	41	41	51
Aug.	42	42	43	45	46	45	43	42	42	48
Sept.	37	37	38	40	41	42	42	41	41	43
Oct.	34	34	34	36	38	39	40	40	40	49
Nov.	32	32	32	32	34	36	38	38	39	49
Dec.	30	30	30	31	32	34	36	37	37	49

ภาพที่ 2.7 แสดง Table 35 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง

SHGF สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกไมโดนแดด

Table 36 Cooling Load Factors (CLF) for Glass Without Interior Shading, North Latitudes, General

Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time, h																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N (Shaded)	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.75	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.53	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.49	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.72	0.72	0.70	0.70	0.75	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NNE	L	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.26	0.43	0.47	0.44	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.36	0.33	0.30	0.26	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.24	0.38	0.42	0.39	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.30	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	
	H	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.26	0.39	0.42	0.39	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
ENE	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.21	0.40	0.52	0.57	0.53	0.45	0.39	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.20	0.35	0.45	0.49	0.47	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.23	0.20	0.17	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.22	0.36	0.46	0.49	0.45	0.38	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
E	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.50	0.42	0.37	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.46	0.39	0.35	0.31	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.20	0.34	0.45	0.49	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.08
ESE	L	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.17	0.34	0.49	0.58	0.61	0.57	0.48	0.41	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06
	M	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.16	0.31	0.43	0.51	0.54	0.51	0.44	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09
	H	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.19	0.32	0.43	0.50	0.52	0.49	0.41	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11
SE	L	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.56	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
SSE	L	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.15	0.29	0.43	0.55	0.63	0.64	0.60	0.52	0.45	0.40	0.35	0.29	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08
	M	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.08	0.16	0.26	0.38	0.48	0.55	0.57	0.54	0.48	0.43	0.39	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12
	H	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.12	0.19	0.29	0.40	0.49	0.54	0.55	0.51	0.44	0.39	0.35	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13
S	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	H	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.37	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
SSW	L	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.27	0.39	0.52	0.62	0.67	0.65	0.58	0.46	0.36	0.28	0.23	0.19	0.15	0.12
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.25	0.35	0.46	0.55	0.59	0.59	0.53	0.44	0.35	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.27	0.37	0.46	0.53	0.57	0.55	0.49	0.40	0.32	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16
SW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
WSW	L	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.17	0.26	0.40	0.52	0.62	0.66	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15
	M	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.17	0.24	0.35	0.46	0.54	0.58	0.55	0.42	0.34	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.19	0.26	0.36	0.46	0.53	0.56	0.51	0.38	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
W	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.20	0.32	0.45	0.57	0.64	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.29	0.40	0.50	0.56	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
WNW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.26	0.40	0.53	0.63	0.62	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.24	0.35	0.47	0.55	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.25	0.36	0.46	0.53	0.52	0.38	0.30	0.24	0.20	0.18	0.16
NW	L	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.42	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.54	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	H	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.18	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15
NNW	L	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.27	0.29	0.30	0.33	0.44	0.57	0.62	0.44	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.10	0.12	0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.27	0.28	0.31	0.39	0.51	0.56	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.26	0.28	0.28	0.31	0.38	0.49	0.53	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16
HOR	L	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.07	0.14	0.24	0.36	0.48	0.58	0.66	0.72	0.74	0.73	0.67	0.59	0.47	0.37	0.29	0.24	0.19	0.16	0.13
	M	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.11	0.16	0.24	0.33	0.43	0.52	0.59	0.64	0.67	0.66	0.62	0.56	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.15	0.20	0.28	0.36	0.45	0.52	0.59	0.62	0.64	0.62	0.58	0.51	0.42	0.35	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

L = Light construction: frame exterior wall, 2-in. concrete floor slab, approximately 30 lb of material/ft² of floor area.
M = Medium construction: 4-in. concrete exterior wall, 4-in. concrete floor slab, approximately 70 lb of building material/ft² of floor area.
H = Heavy construction: 6-in. concrete exterior wall, 6-in. concrete floor slab, approximately 130 lb of building materials/ft² of floor area.

ภาพที่ 2.8 แสดง Table 36 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง CLF ของกระจกที่ไม่มีการบังเงาภายในอาคาร ตกแต่งภายในแบบทั่วไป

**Table 37 Cooling Load Factors (CLF) for Glass Without Interior Shading,
In North Latitude Spaces Having Carpeted Floors**

Room	Dir. Mass	Solar Time																							
		0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	L	.00	.00	.00	.00	.01	.64	.73	.74	.81	.88	.95	.98	.98	.94	.88	.79	.79	.55	.31	.12	.04	.02	.01	.00
	M	.03	.02	.02	.02	.02	.64	.69	.69	.77	.84	.91	.94	.95	.91	.86	.79	.79	.56	.32	.16	.10	.07	.05	.04
	H	.10	.09	.08	.07	.07	.62	.64	.64	.71	.77	.83	.87	.88	.85	.81	.75	.76	.55	.34	.22	.17	.15	.13	.11
NE	L	.00	.00	.00	.00	.01	.51	.83	.88	.72	.47	.33	.27	.24	.23	.20	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.01	.01	.00	.00	.01	.50	.78	.82	.67	.44	.32	.28	.26	.24	.22	.19	.15	.11	.05	.03	.02	.02	.01	.01
	H	.03	.03	.03	.02	.03	.47	.71	.72	.59	.40	.30	.27	.26	.25	.23	.20	.17	.13	.08	.06	.05	.05	.04	.04
E	L	.00	.00	.00	.00	.00	.42	.76	.91	.90	.75	.51	.30	.22	.18	.16	.13	.11	.07	.02	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.01	.01	.00	.00	.01	.41	.72	.86	.84	.71	.48	.30	.24	.21	.18	.16	.13	.09	.04	.03	.02	.01	.01	.01
	H	.03	.03	.03	.02	.02	.39	.66	.76	.74	.63	.43	.29	.24	.22	.20	.18	.15	.12	.08	.06	.05	.05	.04	.04
SE	L	.00	.00	.00	.00	.00	.27	.58	.81	.93	.93	.81	.59	.37	.27	.21	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.01	.01	.01	.00	.01	.26	.55	.77	.88	.87	.76	.56	.37	.29	.24	.20	.16	.11	.05	.04	.03	.02	.02	.01
	H	.04	.04	.03	.03	.03	.26	.51	.69	.78	.78	.68	.51	.35	.29	.25	.22	.19	.15	.09	.08	.07	.06	.05	.05
S	L	.00	.00	.00	.00	.00	.07	.15	.23	.39	.62	.82	.94	.93	.80	.59	.38	.26	.16	.06	.02	.01	.00	.00	.00
	M	.01	.01	.01	.01	.01	.07	.14	.22	.38	.59	.78	.88	.88	.76	.57	.38	.28	.18	.09	.06	.04	.03	.02	.02
	H	.05	.05	.04	.04	.03	.09	.15	.21	.35	.54	.70	.79	.79	.69	.52	.37	.29	.21	.13	.10	.09	.08	.07	.06
SW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.13	.16	.19	.22	.39	.62	.82	.94	.94	.81	.54	.19	.07	.03	.01	.00	.00
	M	.02	.02	.01	.01	.01	.05	.09	.13	.16	.19	.22	.38	.60	.78	.89	.89	.77	.52	.20	.10	.07	.05	.04	.03
	H	.07	.06	.05	.05	.04	.07	.11	.14	.16	.18	.21	.35	.55	.71	.80	.79	.69	.48	.20	.14	.11	.10	.08	.07
W	L	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.07	.10	.13	.15	.16	.18	.31	.55	.78	.92	.93	.73	.25	.10	.04	.01	.01	.00
	M	.02	.02	.01	.01	.01	.04	.07	.10	.13	.14	.16	.17	.30	.53	.74	.87	.88	.69	.24	.12	.07	.05	.04	.03
	H	.06	.06	.05	.04	.04	.06	.09	.11	.13	.15	.16	.17	.28	.49	.67	.78	.79	.62	.23	.14	.11	.09	.08	.07
NW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.14	.17	.20	.22	.23	.24	.31	.53	.78	.92	.81	.28	.10	.04	.02	.01	.00
	M	.02	.02	.01	.01	.01	.05	.10	.13	.17	.19	.21	.22	.23	.30	.52	.75	.88	.77	.26	.12	.07	.05	.04	.03
	H	.06	.05	.05	.04	.04	.07	.11	.14	.17	.19	.20	.21	.22	.28	.48	.68	.79	.69	.23	.14	.10	.09	.08	.07
Hor.	L	.00	.00	.00	.00	.00	.08	.25	.45	.64	.80	.91	.97	.97	.91	.80	.64	.44	.23	.08	.03	.01	.00	.00	.00
	M	.02	.02	.01	.01	.01	.08	.24	.43	.60	.75	.86	.92	.92	.87	.77	.63	.45	.26	.12	.07	.05	.04	.03	.02
	H	.07	.06	.05	.05	.04	.11	.25	.41	.56	.68	.77	.83	.83	.80	.71	.59	.44	.28	.17	.13	.11	.10	.09	.08

Values for nominal 15 ft by 15 ft by 10 ft. high space, with ceiling, and 50% or less glass in exposed surface at listed orientation.
 L = Lightweight construction, such as 1-in. wood floor, Group G wall.
 M = Mediumweight construction, such as 2 to 4-in. concrete floor, Group E wall.
 H = Heavyweight construction, such as 6 to 8-in. concrete floor, Group C wall.

ภาพที่ 2.9 แสดง Table 37 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง CLF ของกระจกที่ไม่มีการบังเงาภายในอาคาร มีการปูพรมในห้อง

**Table 38 Cooling Load Factors (CLF) for Glass Without Interior Shading,
In North Latitude Spaces Having Uncarpeted Floors**

Room	Dir. Mass	Solar Time																							
		0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	L	.00	.00	.00	.00	.01	.64	.73	.74	.81	.88	.95	.98	.98	.94	.88	.79	.79	.55	.31	.12	.04	.02	.01	.00
	M	.12	.09	.07	.06	.05	.33	.45	.53	.61	.69	.76	.82	.85	.86	.85	.81	.80	.70	.60	.43	.32	.24	.19	.15
	H	.24	.21	.19	.18	.16	.43	.48	.51	.56	.61	.66	.71	.73	.74	.73	.71	.71	.62	.52	.42	.36	.32	.29	.26
NE	L	.00	.00	.00	.00	.01	.51	.83	.88	.72	.47	.33	.27	.24	.23	.20	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.03	.02	.02	.02	.02	.24	.45	.57	.58	.49	.41	.36	.32	.29	.27	.24	.21	.17	.13	.10	.07	.06	.05	.04
	H	.08	.07	.06	.06	.06	.27	.43	.49	.45	.37	.32	.29	.28	.27	.26	.24	.22	.19	.16	.14	.12	.11	.10	.09
E	L	.00	.00	.00	.00	.00	.42	.76	.91	.90	.75	.51	.30	.22	.18	.16	.13	.11	.07	.02	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.03	.02	.02	.02	.01	.20	.41	.57	.65	.64	.55	.44	.36	.31	.26	.23	.19	.16	.12	.09	.07	.06	.04	.04
	H	.08	.08	.07	.06	.06	.24	.40	.50	.53	.50	.41	.33	.30	.28	.26	.24	.22	.19	.16	.14	.13	.11	.10	.09
SE	L	.00	.00	.00	.00	.00	.27	.58	.81	.93	.93	.81	.59	.37	.27	.21	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.04	.03	.02	.02	.02	.13	.31	.48	.62	.69	.69	.61	.50	.41	.35	.30	.25	.20	.15	.12	.09	.07	.06	.05
	H	.10	.09	.08	.08	.07	.18	.32	.45	.53	.56	.54	.47	.39	.35	.32	.29	.26	.23	.19	.17	.15	.14	.12	.11
S	L	.00	.00	.00	.00	.00	.07	.15	.23	.39	.62	.82	.94	.93	.80	.59	.38	.26	.16	.06	.02	.01	.00	.00	.00
	M	.05	.04	.04	.03	.02	.05	.09	.14	.24	.38	.53	.65	.72	.71	.63	.52	.42	.33	.24	.18	.14	.11	.09	.07
	H	.13	.12	.10	.09	.09	.11	.14	.17	.25	.36	.47	.55	.58	.56	.49	.41	.36	.30	.25	.21	.19	.17	.16	.14
SW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.13	.16	.19	.23	.39	.62	.82	.94	.94	.81	.54	.19	.07	.03	.01	.00	.00
	M	.08	.07	.05	.04	.03	.05	.07	.09	.12	.15	.17	.26	.40	.54	.66	.73	.72	.61	.43	.31	.23	.17	.13	.10
	H	.15	.14	.12	.11	.10	.11	.12	.14	.15	.17	.18	.26	.37	.48	.56	.59	.57	.47	.33	.27	.23	.21	.19	.17
W	L	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.07	.10	.13	.15	.16	.18	.31	.55	.78	.92	.93	.73	.25	.10	.04	.01	.01	.00
	M	.08	.07	.05	.04	.04	.04	.06	.08	.10	.12	.13	.15	.21	.35	.50	.63	.71	.67	.46	.33	.24	.18	.14	.11
	H	.14	.13	.12	.11	.10	.10	.11	.12	.13	.14	.15	.16	.21	.33	.45	.54	.58	.52	.33	.26	.22	.19	.18	.16
NW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.14	.17	.20	.22	.23	.24	.31	.53	.78	.92	.81	.28	.10	.04	.02	.01	.00
	M	.08	.06	.05	.04	.03	.05	.07	.10	.13	.15	.17	.19	.20	.24	.36	.51	.64	.66	.46	.32	.23	.17	.13	.10
	H	.13	.12	.11	.10	.09	.10	.12	.13	.15	.16	.17	.18	.19	.23	.33	.46	.55	.53	.33	.25	.21	.18	.16	.15
Hor.	L	.00	.00	.00	.00	.00	.08	.25	.45	.64	.80	.91	.97	.97	.91	.80	.64	.44	.23	.08	.03	.01	.00	.00	.00
	M	.07	.06	.05	.04	.03	.06	.14	.26	.40	.53	.64	.73	.78	.80	.77	.70	.59	.45	.33	.24	.19	.14	.11	.09
	H	.16	.15	.13	.12	.11	.13	.20	.29	.39	.48	.56	.61	.65	.63	.57	.49	.40	.32	.28	.25	.22	.20	.18	.16

Values for nominal 15 ft x 15 ft x 10 ft. high space, with ceiling, and 50% or less glass in exposed surface at listed orientation.
 L = Lightweight construction, such as 1-in. wood floor, Group G wall.
 M = Mediumweight construction, such as 2 to 4-in. concrete floor, Group E wall.
 H = Heavyweight construction, such as 6 to 8-in. concrete floor, Group C wall.

ภาพที่ 2.10 แสดง Table 38 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง CLF ของกระจกที่ไม่มีการบังเงาภายในอาคาร ไม่มีการปูพรมในห้อง

**Table 39 Cooling Load Factors (CLF) for Glass with Interior Shading, North Latitudes
(All Room Constructions)**

Fenestration Facing	Solar Time, h																							
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.86	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10
NNE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.64	0.77	0.62	0.42	0.37	0.37	0.37	0.36	0.35	0.32	0.28	0.23	0.17	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
NE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
ENE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.52	0.76	0.80	0.71	0.52	0.31	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
E	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
ESE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.41	0.67	0.79	0.80	0.72	0.54	0.34	0.27	0.24	0.21	0.19	0.15	0.12	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
SE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.57	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.25	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
SSE	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.12	0.31	0.54	0.72	0.81	0.81	0.71	0.54	0.38	0.32	0.27	0.22	0.16	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
S	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.09	0.16	0.23	0.38	0.58	0.75	0.83	0.80	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
SSW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.09	0.14	0.18	0.22	0.27	0.43	0.63	0.78	0.84	0.80	0.66	0.46	0.25	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06
SW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.38	0.59	0.75	0.83	0.81	0.69	0.45	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
WSW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.23	0.44	0.64	0.78	0.84	0.78	0.55	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
W	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
WNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.22	0.43	0.65	0.80	0.84	0.66	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.82	0.69	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.11	0.17	0.22	0.26	0.30	0.32	0.33	0.34	0.34	0.39	0.61	0.82	0.76	0.17	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
HOR.	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.27	0.44	0.59	0.72	0.81	0.85	0.85	0.81	0.71	0.58	0.42	0.25	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06

ภาพที่ 2.11 แสดง Table 39 ตามคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. [5] แสดง CLF ของกระจกที่มีการบังเงาภายในอาคาร

2.1.4 ภาระการทำความเย็นจากภายในอาคารที่เกิดจากหลอดไฟ

เนื่องจากหลอดไฟนั้นนอกจากจะให้ความสว่างกับภายในอาคารแล้วยังเกิดความร้อนขึ้นด้วย ทำให้เกิดเป็นภาระการทำความเย็นขึ้น ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{(\text{Light})} = \text{Watt} \cdot 3.41 \cdot \text{Ballast Factor} \cdot \text{CLF} \quad (\text{สมการที่ 2.9}) [5]$$

โดย $Q_{(\text{Light})}$ คือ ภาระการทำความเย็นจากหลอดไฟ (Btu/h)
 Ballast Factor คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้ Ballast กับหลอดไฟ
 มีค่าดังนี้ = 1.2 สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์/1.0 สำหรับหลอดไส้
 CLF คือ Cooling load factor (Unit less) ตามชั่วโมงการใช้งาน
 ซึ่งหาได้จากการนำตัวแปร a จากภาพที่ 2.12 และตัวแปร b จากภาพที่ 2.13 มาวิเคราะห์ร่วมกันและหาค่าได้ตามภาพที่ 2.14
 - ภาพที่ 2.16

a	Furnishings	Air Supply and Return	Type of Light Fixture
0.45	Heavyweight, simple furnishings, no carpet	Low rate; supply and return below ceiling ($V \leq 0.5$) ^a	Recessed, not vented
0.55	Ordinary furniture, no carpet	Medium to high ventilation rate; supply and return below ceiling or through ceiling grill and space ($V \geq 0.5$) ^a	Recessed, not vented
0.65	Ordinary furniture, with or without carpet	Medium to high ventilation rate or fan coil or induction type air-conditioning terminal unit; supply through ceiling or wall diffuser; return around light fixtures and through ceiling space. ($V \geq 0.5$) ^a	Vented
0.75 or greater	Any type of furniture	Ducted returns through light fixtures	Vented or free-hanging in air stream with ducted returns

^a V is room air supply rate in cfm/ft² of floor area.

ภาพที่ 2.12 แสดง Table 41 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดงค่าการออกแบบ ตัวแปร a

Table 42 Design Values of b

Room Envelope Construction ^a (mass of floor area, lb/ft ²)	Room Air Circulation and Type of Supply and Return ^b			
	Low	Medium	High	Very High
2-in. Wood Floor (10)	B	A	A	A
3-in. Concrete Floor (40)	B	B	B	A
6-in. Concrete Floor (75)	C	C	C	B
8-in. Concrete Floor (120)	D	D	C	C
12-in. Concrete Floor (160)	D	D	D	D

^aFloor covered with carpet and rubber pad; for a floor covered only with floor tile take next classification to the right in the same row.

^b*Low:* Low ventilation rate—minimum required to cope with cooling load from lights and occupants in interior zone. Supply through floor, wall or ceiling diffuser. Ceiling space not vented and $h = 0.4 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ (where h = inside surface convection coefficient used in calculation of b).

Medium: Medium ventilation rate, supply through floor, wall or ceiling diffuser. Ceiling space not vented and $h = 0.6 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$.

High: Room air circulation induced by primary air of induction unit or by coil unit. Return through ceiling space and $h = 0.8 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$.

Very High: High room air circulation used to minimize temperature gradient in a room. Return through ceiling space and $h = 1.2 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$.

ภาพที่ 2.13 แสดง Table 42 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดงค่าการออกแบบ ตัวแปร b

Table 43 Cooling Load Factors When Lights Are on for 8 Hours

"a" Coef- ficients	"b" Class- ification	Number of hours after lights are turned on																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.02	0.46	0.57	0.65	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.46	0.37	0.30	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
	B	0.07	0.51	0.56	0.61	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
	C	0.11	0.55	0.58	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12
	D	0.14	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15
0.55	A	0.01	0.56	0.65	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.90	0.37	0.30	0.24	0.19	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	B	0.06	0.60	0.64	0.68	0.71	0.74	0.76	0.79	0.81	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
	C	0.09	0.63	0.66	0.68	0.70	0.71	0.73	0.75	0.76	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10
	D	0.11	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.72	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12
0.65	A	0.01	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.88	0.91	0.93	0.29	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
	B	0.04	0.69	0.72	0.75	0.77	0.80	0.82	0.84	0.85	0.22	0.19	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
	C	0.07	0.72	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.82	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
	D	0.09	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09
0.75	A	0.01	0.76	0.80	0.84	0.87	0.90	0.92	0.93	0.95	0.21	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
	B	0.03	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
	C	0.05	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05
	D	0.06	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

ภาพที่ 2.14 แสดง Table 43 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง CLF สำหรับการเปิดไฟที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน

Table 44 Cooling Load Factors When Lights Are on for 10 Hours

"a" Coef- ficients	"b" Class- ification	Number of hours after lights are turned on																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.03	0.47	0.58	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.88	0.91	0.93	0.49	0.39	0.32	0.26	0.21	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	B	0.10	0.54	0.59	0.63	0.66	0.70	0.73	0.76	0.78	0.80	0.82	0.39	0.35	0.32	0.28	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11
	C	0.15	0.59	0.61	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16
	D	0.18	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.70	0.71	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17
0.55	A	0.02	0.57	0.65	0.72	0.78	0.82	0.85	0.88	0.91	0.92	0.94	0.40	0.32	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
	B	0.08	0.62	0.66	0.69	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09
	C	0.12	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
	D	0.15	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15
0.65	A	0.02	0.66	0.73	0.78	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.31	0.25	0.20	0.16	0.13	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02
	B	0.06	0.71	0.74	0.76	0.79	0.81	0.83	0.84	0.86	0.87	0.89	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07
	C	0.09	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10
	D	0.11	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12
0.75	A	0.01	0.76	0.81	0.84	0.88	0.90	0.92	0.93	0.95	0.96	0.97	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	B	0.04	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
	C	0.07	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07
	D	0.08	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09

ภาพที่ 2.15 แสดง Table 44 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง CLF สำหรับการเปิดไฟที่ 10 ชั่วโมงต่อวัน

Table 45 Cooling Load Factors When Lights Are on for 12 Hours

"a" Coef- ficients	"b" Class- ification	Number of hours after lights are turned on																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0.45	A	0.05	0.49	0.59	0.67	0.73	0.78	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.51	0.41	0.33	0.27	0.22	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06
	B	0.13	0.57	0.61	0.65	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.82	0.83	0.85	0.87	0.43	0.39	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.18	0.17	0.15
	C	0.19	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.73	0.74	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20
	D	0.22	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.75	0.76	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23
0.55	A	0.04	0.58	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.42	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05
	B	0.11	0.65	0.68	0.72	0.74	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.35	0.32	0.28	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12
	C	0.15	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.30	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16
	D	0.18	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19
0.65	A	0.03	0.67	0.74	0.79	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	B	0.09	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.27	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
	C	0.12	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
	D	0.14	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15
0.75	A	0.02	0.77	0.81	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
	B	0.06	0.81	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.19	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
	C	0.09	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09
	D	0.10	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11

ภาพที่ 2.16 แสดง Table 45 ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. [5] แสดง CLF สำหรับการเปิดไฟที่ 12 ชั่วโมงต่อวัน

2.1.5 ภาระการทำความเย็นจากภายในอาคารที่เกิดจากมนุษย์

กิจกรรมของมนุษย์มีความสัมพันธ์กับการหายใจ ส่งผลต่อปริมาณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วนั้นไม่มีค่าตายตัวสำหรับการคำนวณที่แน่นอน แต่ได้กำหนดเป็นค่าเฉลี่ยไว้ตามกิจกรรมที่ทำตามตารางดังนี้

Degree of Activity	Typical Application	Total Heat Adults, Male, Btu/h	Total Heat Adjusted, ^d Btu/h	Sensible Heat, Btu/h	Latent Heat, Btu/h
Seated at theater	Theater—Matinee	390	330	225	105
Seated at theater	Theater—Evening	390	350	245	105
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	200
Standing, light work; walking	Department store, retail store	550	450	250	200
Walking; standing	Drug store, bank	550	500	250	250
Sedentary work	Restaurant ^e	490	550	275	275
Light bench work	Factory	800	750	275	475
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545
Walking 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625
Bowling ^f	Bowling alley	1500	1450	580	870
Heavy work	Factory	1500	1450	580	870
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090

^a Tabulated values are based on 75°F room dry-bulb temperature. For 80°F room dry-bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and the latent heat values increased accordingly.
^b Also refer to Table 1, Chapter 3.
^c All values are rounded to nearest 5 Btu/h.
^d Adjusted heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, with the postulate that the gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and that the gain from a child is 75% of that for an adult male.
^e Adjusted total heat gain for *Sedentary work, Restaurant*, includes 60 Btu/h for food per individual (30 Btu/h sensible and 30 Btu/h latent).
^f For *Bowling*, figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (400 Btu/h) or standing and walking slowly (550 Btu/h).

ภาพที่ 2.17 แสดงอัตราภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ [5]

2.1.6 ภาระการทำความเย็นจากภายในอาคารที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า

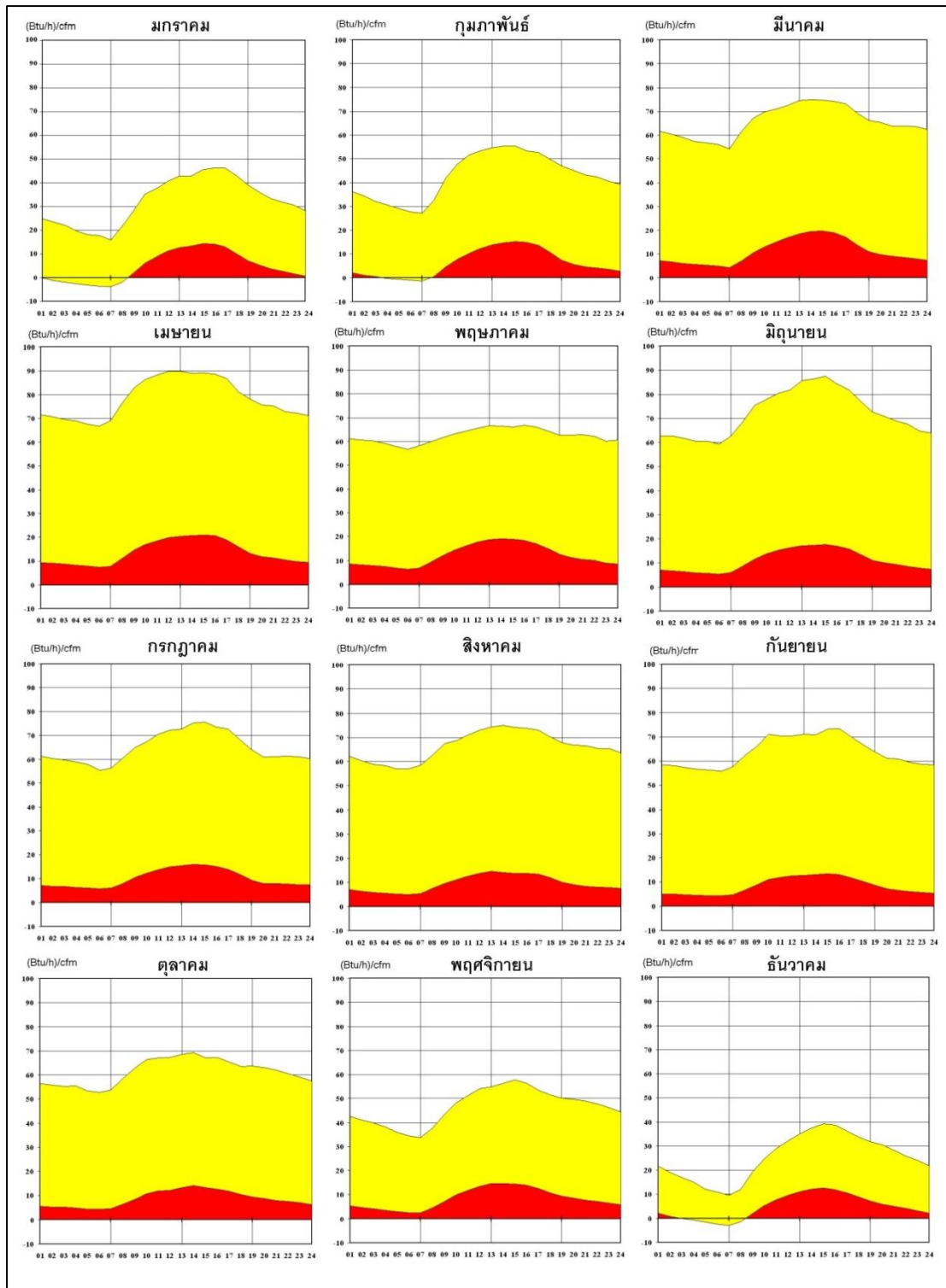
อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าหน่วยวัตต์ (Watt) เป็นภาระการทำความเย็นได้โดยใช้ความสัมพันธ์คือ $1 \text{ Watt} = 3.412 \text{ Btu/h}$ [6]

2.1.7 ภาระการทำความเย็นจากภายในอาคารที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ

ข้อมูลอ้างอิงจากหนังสืออาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ [7] ซึ่งมีการทดลองเก็บภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายอากาศระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งเป็นค่าที่เกิดขึ้นตลอดวัน จากการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย ดังนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวมากำหนดภาระการทำความเย็นสูงสุดของวันได้ตามตารางด้านล่างนี้ โดยกำหนดให้ใช้ค่าสูงสุดในแต่ละวันในการออกแบบ เพื่อนำมาคำนวณหาภาระการทำความเย็นรวมทั้งหมดที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสูงสุดในแต่ละวันของภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศในแต่ละเดือน ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณจากข้อมูลอ้างอิงจากหนังสืออาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ [7]

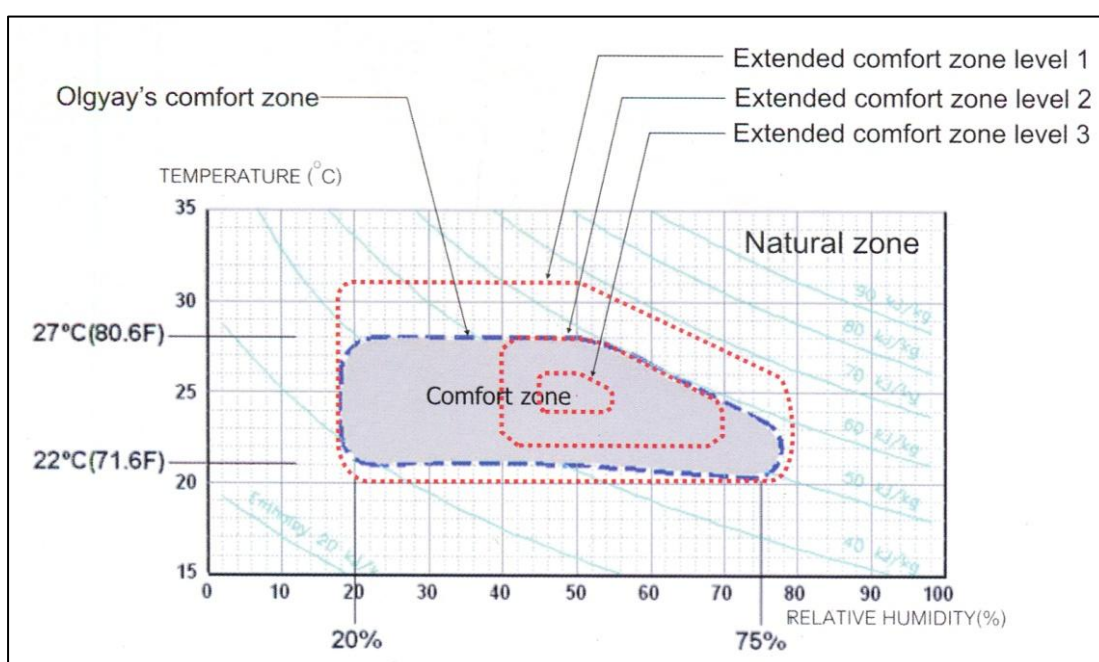
เดือน	ค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของวัน ที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ (Btu/h)/CFM
มกราคม	47
กุมภาพันธ์	55
มีนาคม	75
เมษายน	90
พฤษภาคม	67
มิถุนายน	87
กรกฎาคม	75
สิงหาคม	75
กันยายน	74
ตุลาคม	69
พฤศจิกายน	58
ธันวาคม	39



ภาพที่ 2.18 แสดงภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายอากาศระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ในแต่ละเดือน [7]

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสภาวะน่าสบาย

นอกจากสภาพภูมิอากาศที่มีผลทำให้มนุษย์นั้นรู้สึกได้ถึงความร้อนหนาวแล้ว จากการศึกษา ยังพบว่าสภาวะที่มนุษย์รู้สึกสบาย ไม่ร้อนหรือหนาวเกินไปนั้น เราเรียกว่า “สภาวะน่าสบาย” [8] โดยมีการกำหนดขอบเขตที่เกิดจากปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาวของมนุษย์ไว้เป็น มาตรฐาน เรียกว่า “เขตสบาย” หรือ Comfort Zone [8] ที่แสดงอยู่ใน Bioclimatic chart โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาวในสภาวะที่ร่างกายปรกตินั้นมีอยู่ 6 ตัวแปรด้วยกัน ได้แก่



ภาพที่ 2.19 แสดงแผนภูมิไบโอไคลเมติกที่แบ่งเขตสบายออกเป็น 4 กลุ่ม จากการวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ประกอบกัน [8]

1 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) คือ อุณหภูมิอากาศกระเปาะแห้งที่เราสามารถวัดได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิทั่วไป ส่งผลโดยตรงกับมนุษย์ที่อยู่อาศัยในบริเวณนั้น

2 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือ ร้อยละของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศเทียบกับปริมาณน้ำที่อากาศสามารถรับได้ทั้งหมด ณ อุณหภูมิกระเปาะแห้งนั้นๆ ส่งผลกับการระบายความร้อนของมนุษย์ด้วยการขับเหงื่อเพื่อระเหยน้ำออกไปสู่บรรยากาศ หากขณะนั้นมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำก็จะทำให้ร่างกายสามารถระบายความร้อนด้วยเหงื่อได้มากกว่าขณะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

3 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature) คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยรอบตัวเรา ซึ่งหากเราอยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิมิผิวเฉลี่ยต่ำกว่าผิวกายมนุษย์ ซึ่งมีค่า

โดยประมาณ 32 องศาเซลเซียสนั้น จะพบว่าเราจะสูญเสียความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ ด้วยกระบวนการแผ่รังสี ทำให้เรารู้สึกเย็น และในทางกลับกันหากเราอยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิผิวเฉลี่ยสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส เราจะได้รับอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนเข้าหาตัวเรา ทำให้เรารู้สึกร้อน ซึ่งจากการวิจัยพบว่าเมื่ออุณหภูมิผิวเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไป 1 องศาเซลเซียส จะทำให้เรารู้สึกเสมือนว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1.4 องศาเซลเซียส

4 ความเร็วลม (Air Velocity) กระแสลมที่พัดผ่านผิวกายนั้นเมื่อมีความเร็วลมเพิ่มขึ้นมนุษย์เราจะมีความรู้สึกเสมือนว่าเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริง เนื่องจากอัตราการระบายความร้อนออกจากผิวกายแปรผันตามความเร็วของกระแสลม กล่าวคือเมื่อลมมีความเร็วเพิ่มขึ้นร่างกายก็จะระบายความร้อนได้เร็วขึ้นเช่นเดียวกัน จึงทำให้รู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จริงจากเครื่องมือ ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$\text{ความรู้สึกเย็นลง (}^{\circ}\text{C)} = 0.381 \cdot V + 0.016 \cdot \text{RH} \quad (\text{สมการ 2.12}) [8]$$

โดย V คือ ความเร็วลม (km/h.)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

5 ลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-value) มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหรือหนาวของมนุษย์ เนื่องจากเสื้อผ้าที่สวมใส่นั้นมีความเป็นฉนวน ดังนั้นหากเราใส่เสื้อผ้าที่หนามากเช่นเสื้อกันหนาวในฤดูหนาว เราก็สามารถรู้สึกอบอุ่นขึ้นได้ เพราะร่างกายได้รับอิทธิพลของอากาศหนาวน้อยลงและร่างกายสูญเสียความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมน้อยเนื่องจากเสื้อกันหนาวช่วยกักเก็บอุณหภูมิไว้ เสมือนกับ MRT ของผิวกายเพิ่มขึ้น

6 อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism rate) ซึ่งในแต่ละคนนั้นอัตราการเผาผลาญพลังงานไม่เท่ากันจึงยากที่จะทำการวัดด้วยเครื่องมือทั่วไป แต่เราสามารถจำแนกอัตราการเผาผลาญพลังงานได้คร่าวๆ จากกิจกรรม หรือกลุ่มกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ได้

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับขอบเขตสบาย

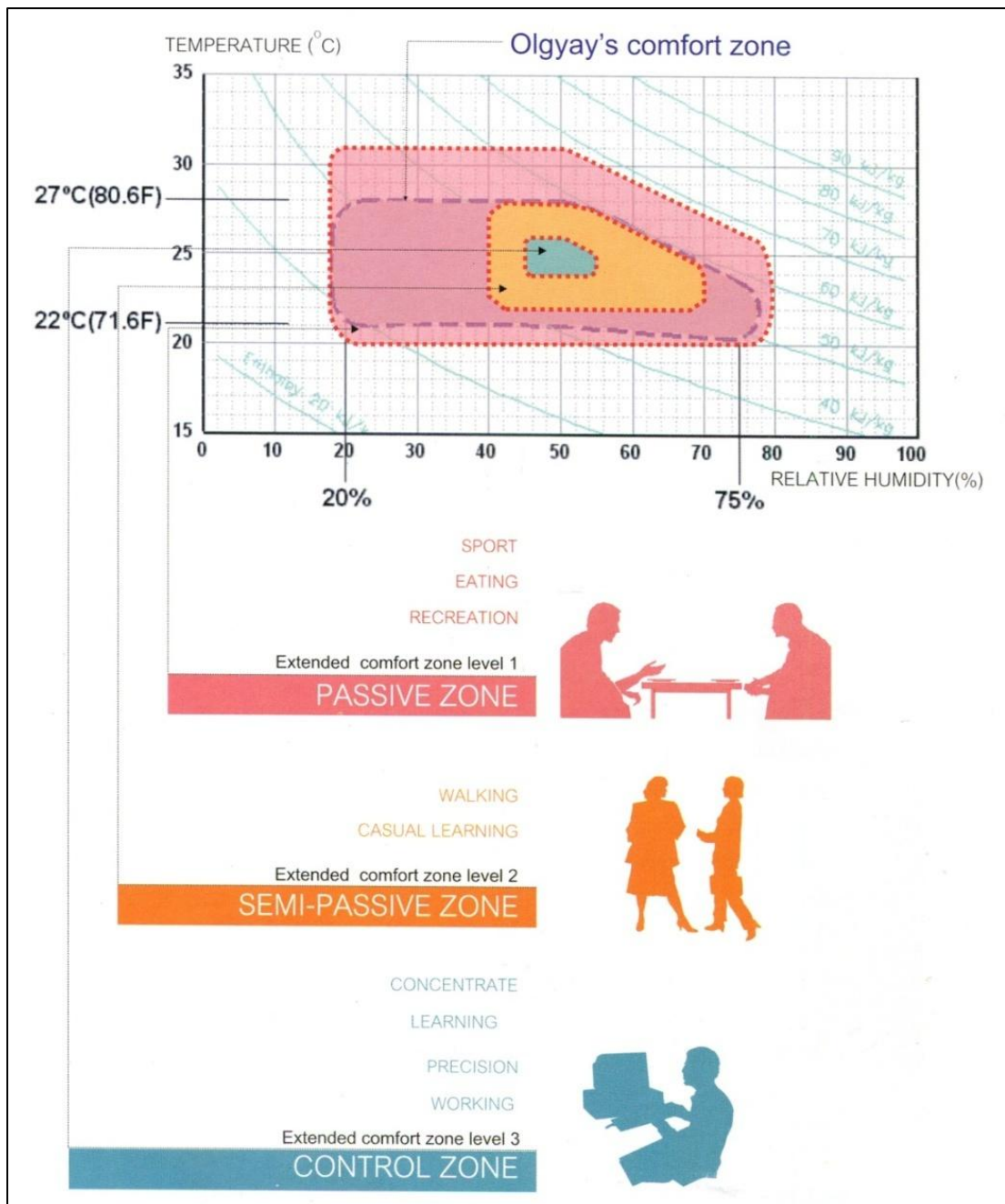
ตัวแปรในด้านของ Clo-value และ Metabolism rate ดังกล่าวสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ในการขยายขอบเขตของสภาวะน่าสบายได้ ซึ่งโดยปรกตินั้นขอบเขตสบายของมนุษย์นั้นมีค่าของอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง $22^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 20%-75% โดยประมาณ ซึ่งสามารถดูได้จากแผนภูมิไปโอโคลเมติก ที่ระบุว่าเป็น Comfort zone ซึ่งในขอบเขตนี้เป็นสภาวะน่าสบายของมนุษย์โดยทั่วไป ดังนั้นแล้วหากเราวิเคราะห์โดยรวมเอาตัวแปร Clo-value และ Metabolism rate แล้วนั้นเราจะสามารถขยายขอบเขตสภาวะน่าสบายให้กว้างขึ้นหรือในบางกรณี

อาจต้องจำกัดขอบเขตสภาวะน่าสบายให้แคบลงได้ เพื่อให้เราสามารถปรับแต่งสภาพอากาศให้เหมาะสมได้ดังนี้

ก) เขตสบายระดับที่ 1 (Extended Comfort zone level 1) เป็นสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงธรรมชาติภายนอกอาคารแต่มีความเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า เหมาะกับกิจกรรมแบบลำลองทั่วไป การพักผ่อนหย่อนใจ การใช้ชีวิตอยู่กับบ้าน ซึ่งไม่ต้องใช้สมมติมากนัก สามารถรับความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมได้บ้างเราเรียกเขตสบายในระดับนี้ว่า Passive zone หรือที่เรียกว่าพื้นที่ควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ

ข) เขตสบายระดับที่ 2 (Extended Comfort zone level 2) เป็นสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าระดับที่ 1 เหมาะกับกิจกรรมที่ต้องใช้สมมติบ้างเช่นการทำงานที่ไม่หนักบ้าง การอ่านหนังสือทบทวนบทเรียน การเดินหรือกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวเบาๆ สามารถรับความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมได้น้อย เราเรียกเขตสบายในระดับนี้ว่า Semi-Passive zone หรือที่เรียกว่าพื้นที่กึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม

ค) เขตสบายระดับที่ 3 (Extended Comfort zone level 3) เป็นสภาพแวดล้อมที่มีควบคุมทั้งหมด เหมาะกับกิจกรรมที่ต้องใช้สมมติมาก เช่นการทำงาน การเรียน การประชุมไม่สามารถรับความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมได้ เราเรียกเขตสบายในระดับนี้ว่า Control zone หรือที่เรียกว่าพื้นที่ควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 2.20 แสดงการแบ่งโซนพื้นที่ใช้งานให้เหมาะสมกับกิจกรรมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ [8]

ขอบเขตน่าสบายดังกล่าว หากนำมาวิเคราะห์ในการออกแบบการปรับอากาศให้เหมาะสมกับกิจกรรมของผู้ใช้งานอาคาร จะสามารถออกแบบสภาพอากาศภายในบ้านได้อย่างเหมาะสมและประหยัดพลังงานมากขึ้นได้ แต่ในทางปฏิบัติเพื่อหาภาระการทำความเย็นสูงสุดเพื่อกำหนดขนาดเครื่องปรับอากาศที่ต้องติดตั้งนั้น เราจะวิเคราะห์จากขอบเขตสบายระดับ 3 ที่ต้องการอุณหภูมิภายในอาคารคงที่อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียสโดยประมาณ

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาการคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่ผ่านกระจก ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals.

วิธีการคำนวณหาพลังงานความร้อนที่เข้าสู่อาคารจากหัวข้อที่ 2.1 หากต้องการหาภาระการทำความเย็นเฉพาะที่เกิดขึ้นผ่านกระจกที่มีความสัมพันธ์อย่างไรบ้างเพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารผ่านกระจกตามวิธีการที่ระบุไว้จากคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. ดังที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 2.1 ซึ่งการคำนวณภาระการทำความเย็นนั้นสามารถแยกได้เป็นการคำนวณภาระการทำความเย็นผ่านทางหลังคา ผนัง และกระจก สำหรับภาระการทำความเย็นจากภายนอก และอีกส่วนคือภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เช่น ผู้ใช้งานอาคาร ระบบแสงสว่าง กำลัง เครื่องใช้ไฟฟ้า และการเปลี่ยนถ่ายอากาศ

สำหรับกรณีของกระจกนั้น ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกสามารถจำแนกได้ 2 รูปแบบ คือ

1. ความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนของโมเลกุลของอากาศภายนอกผ่านกระจกสู่โมเลกุลของอากาศภายใน เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการดังนี้

$$Q_{(\text{conduct})} = U \cdot A \cdot CLTD_{\text{correction}} \quad (\text{สมการที่ 2.6}) [5]$$

2. ความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ เนื่องจากกระจกนั้นเป็นวัสดุโปร่งใส เมื่อแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นสั้น ผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคารแล้วตกกระทบกับวัสดุทึบแสงใดๆ แสงอาทิตย์นั้นจะเปลี่ยนความยาวคลื่นเป็นช่วงคลื่นยาว ซึ่งไม่สามารถทะลุกลับผ่านกระจกออกไปได้ ทำให้เปลี่ยนเป็นความร้อนสะสมอยู่ภายในอาคารหรือที่เราเรียกว่า ปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก (Green House Effect) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการดังนี้

$$Q_{(\text{solar})} = A \cdot SHGF \cdot SC \cdot CLF \quad (\text{สมการที่ 2.8}) [5]$$

คู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. นั้นระบุว่า สมการที่ 2.6 นั้น สามารถหาค่าของตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

1. $Q_{\text{(conduct)}}$ คือภาระการทำความเย็นจากภายนอกผ่านกระจกด้วยการนำความร้อนผ่านโมเลกุลของกระจก มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h) ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกับขนาดของเครื่องปรับอากาศที่มีค่า 12,000 บีทียูต่อชั่วโมงสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน ซึ่งภาระการทำความเย็นนี้เองเป็นค่าที่เราต้องการทราบเพื่อกำหนดขนาดของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งโดยปกติทั่วไปนั้น เราจะทำการหาภาระการทำความเย็น ณ สภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นที่สูงสุดเพื่อเลือกใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ที่สุด และสามารถทำการปรับอากาศได้แม้ว่าสภาพแวดล้อมภายนอกจะก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นที่สูงสุด

2. U หรือ U-value คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกซึ่งมีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุตต่อองศาฟาเรนไฮต์ ($\text{Btu/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F}$) ซึ่ง U-value นี้เป็นที่ได้จากคุณสมบัติของวัสดุใดๆ ก็ตาม จะมีค่าตามคุณสมบัติของวัสดุเหล่านั้น

ในส่วนของกระจกเอง สามารถขอค่าคุณสมบัติ U-value นี้ได้จากผู้ผลิตกระจก ซึ่งเป็นค่าที่อาจจะเกิดจากการทดสอบด้วยเครื่องมือวัด หรือบางครั้งก็สามารถคำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยสามารถสอบถามจากผู้ผลิตกระจกหรือผู้แปรรูปกระจกได้ สามารถดูตัวอย่างตารางคุณสมบัติของกระจกได้จากภาพที่ 1.3 คอลัมน์ที่ 15 ในหน่วย วัดต่อตารางเมตรต่อเคลวิน และคอลัมน์ที่ 16 ในหน่วยบีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุตต่อองศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งทั้งสองหน่วยนั้นมีความสัมพันธ์ [6] คือ $1 (\text{W/m}^2\cdot\text{K}) = 0.1761 (\text{Btu/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F})$

3. A หรือ Area คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อน (ft^2 หรือ m^2) จากความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองจุด หากเราวิเคราะห์ว่ากระจกที่ใช้นี้ เป็นวัสดุที่กั้นระหว่างภายนอกและภายในอาคารแล้วนั้น พื้นที่กระจกก็คือพื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น

โดยทั่วไปแล้วนั้น การสั่งซื้อกระจกเพื่อการใช้งานจริง ทางผู้ขายต้องการขนาดกระจกที่มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรเท่านั้น เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อย โดยมาตรฐานทั่วไปนั้นขนาดที่ผลิตได้จะคลาดเคลื่อนไป ประมาณมากหรือน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้และยังสามารถนำไปติดตั้งได้อยู่

4. CLTD_{correction} คือ CLTD ที่ทำการปรับเปลี่ยนแล้ว ($^{\circ}\text{F}$) ดังนี้

$$\text{CLTD}_{\text{correction}} = (\text{CLTD}) + (78-t_R) + (t_o-85) \quad (\text{สมการที่ 2.7}) [5]$$

โดย CLTD นั้นคือ Cooling Load Temperature Difference จากภาพที่ 2.5, Table – 33, *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. (°F) ซึ่งจะสังเกตพบว่ามีค่าตายตัวในแต่ละชั่วโมงของวัน

การที่คู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. กำหนดค่ามาให้ทุกชั่วโมงนี้เอง ทำให้เราสามารถคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นได้ในแต่ละชั่วโมง และนำค่าที่คำนวณได้ตลอดวันมาวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนได้ด้วย

5. t_R หรือ Temperature (Room) คืออุณหภูมิภายในห้องที่ออกแบบ (°F) ซึ่งโดยทั่วไปนั้นจะออกแบบอุณหภูมิภายในห้องไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งจากภาพที่ 2.20 จะพบว่าอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสนี้ เป็นค่าที่อยู่ในช่วงขอบเขตสบายของมนุษย์ทุกระดับ ไม่ว่าจะ เป็น Passive, Semi-Passive หรือ Control Zone ก็ตาม

แต่สำหรับการออกแบบเฉพาะที่เจาะจงมากขึ้น เช่น ออกแบบห้องให้ผู้สูงอายุ หรือผู้ป่วย ซึ่งต้องการปรับอุณหภูมิภายในห้องที่แตกต่างออกไป สามารถออกแบบค่า t_R นี้ต่างจาก 25 องศาเซลเซียสได้เช่นกัน และค่าที่ออกแบบนั้น จะมีค่าที่คงที่เท่ากันตลอดทั้งวัน เนื่องจากมนุษย์เองต้องการที่จะอยู่ในขอบเขตสบายตลอดทั้งวัน

6. t_o หรือ Temperature (Outside) คืออุณหภูมิภายนอกที่กำหนดเพื่อการออกแบบ (°F) ในกรณีที่ต้องการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าเป็นไปตามที่ออกแบบ ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้ได้ภาระการทำความเย็นเพียงช่วงเวลาที่คำนวณเท่านั้น

ในกรณีที่ต้องการทราบภาระการทำความเย็นตลอดทั้งวันเพื่อนำไปออกแบบขนาดเครื่องปรับอากาศนั้น เราจึงต้องคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นทุกชั่วโมงและวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นสูงสุดมาเลือกใช้ในการออกแบบขนาดเครื่องปรับอากาศ

และตามคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. นั้นระบุว่า สมการที่ 2.8 นั้นสามารถหาค่าของตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

7. $Q_{(solar)}$ คือภาระการทำความเย็นจากภายนอกผ่านกระจกด้วยการแผ่รังสีความร้อนผ่านทะลุกระจก มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h) ซึ่งรังสีความร้อนที่ส่งผ่านมายังกระจกนั้นก็คือรังสีความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ เมื่อผ่านทะลุกระจกเข้ามาภายในอาคารแล้วกระทบกับวัสดุผิวที่บดแสงจะเปลี่ยนจากความคลื่น Near Infrared เป็น Far infrared ซึ่งก็คือพลังงานความร้อน หรือภาระการทำความเย็นนั่นเอง

8. SHGF คือ Maximum Solar Heat Gain Factor ($\text{Btu}/\text{h}\cdot\text{ft}^2$) จากภาพที่ 2.6, Table 34 - *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. สำหรับกระจกที่โดนแดด และภาพที่ 2.7 สำหรับกระจกที่มีการบังเงา, Table 35 - *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*.

เราสามารถเลือกค่าจากตารางได้โดยวิเคราะห์พื้นที่ตำแหน่งแลตติจูดที่ต้องการทราบ หรือแลตติจูดที่ตั้งของกระจกที่เราศึกษาว่าตั้งอยู่ ณ แลตติจูดเท่าไร ตัวอย่างเช่นกรุงเทพมหานครนั้นตั้งอยู่ที่แลตติจูดประมาณ 14 องศาเหนือ ก็จะเลือก SHGF จากภาพที่ 2.6, Table 34 - *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. ในหัวข้อที่ตั้ง 14 องศาเหนือ ซึ่งในกรณีนี้ ไม่มีตารางสำหรับ SHGF ที่ 14 องศาเหนือ ดังนั้น เราอาจใช้ค่าเฉลี่ยระหว่าง 12 และ 16 องศาเหนือก็ได้ เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงที่สุด

จากนั้นวิเคราะห์ทิศที่ตั้งของกระจกที่เราต้องการคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นร่วมกับเดือนที่เราต้องการคำนวณหาภาระการทำความเย็นดังกล่าว เราก็จะได้ค่า SHGF สำหรับการนำไปใช้คำนวณต่อไป

9. SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจกแต่ละชนิด (Unit less) ซึ่งค่า SC นี้ก็เป็นค่าที่คุณสมบัติของกระจกแต่ละชนิดเช่นเดียวกับค่า U-value ซึ่งสามารถขอได้จากผู้ผลิตกระจกชนิดนั้นๆ หรือในกรณีที่เป็กระจกที่ผ่านการแปรรูปจากกระจกหลายชนิดนำมาประกอบเข้าด้วยกันนั้น ค่า SC สามารถหาได้จากการคำนวณเช่นเดียวกัน สามารถดูตัวอย่างตารางค่าคุณสมบัติของกระจกได้จาก ภาพที่ 1.3 คอลัมที่ 17

10. CLF คือ Cooling load factor (Unit less) จากภาพที่ 2.9 – ภาพที่ 2.11, Table 36 – 39, *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. จะพบว่า เป็นค่าที่เปลี่ยนไปตามรูปแบบการตกแต่งภายในของอาคารโดยขั้นตอนแรกวิเคราะห์ว่าอาคารที่ออกแบบนั้นมีการใช้อุปกรณ์การบังเงาภายในอาคาร เช่นผ้าม่านหรือมู่ลี่หรือไม่ หากมีการใช้อุปกรณ์บังเงา ให้เลือกค่า CLF จากภาพที่ 2.11 โดยเลือกตามทิศที่กระจกนั้นตั้งอยู่ตามแต่ละช่วงเวลาที่น่าสนใจ

หรือถ้าหากว่าภายในไม่มีการใช้อุปกรณ์บังเงาใดๆ ให้วิเคราะห์ดูว่าภายในอาคารนั้นมีการตกแต่งลักษณะใด ดังนี้

- ทั่วไป (General) ให้เลือกค่า CLF จากภาพที่ 2.8
- มีการปูพรม (Carpeted floor) ให้เลือกค่า CLF จากภาพที่ 2.9

- ไม่มีการปูพรม (Uncarpeted floor) ให้เลือกค่า CLF จากภาพที่ 2.10
- โดยวิเคราะห์ร่วมด้วยกับการก่อสร้างห้องด้วยวัสดุลักษณะใดดังนี้
- Light weight construction คือการก่อสร้างด้วยวัสดุน้ำหนักเบา เช่นพื้นไม้ ผนังเบา
 - Medium weight construction คือการก่อสร้างด้วยวัสดุน้ำหนักปานกลาง เช่นพื้นคอนกรีต ผนังเบาถึงปานกลาง
 - Heavy weight construction คือการก่อสร้างด้วยวัสดุน้ำหนักมาก เช่นพื้นคอนกรีต ผนังคอนกรีต

เมื่อเราได้ค่าจากคุณสมบัติกระจก และค่าจากตารางต่างๆแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาค่า $Q_{\text{(conduction)}}$ และ $Q_{\text{(solar)}}$ ได้ และทำการคำนวณหาภาระการทำความเย็นรวมที่เกิดจากกระจกได้จากสัมพันธ์ $Q_{\text{(total)}} = Q_{\text{(solar)}} + Q_{\text{(conduction)}}$

จากสมการที่ 2.6 หากเราวิเคราะห์หาตัวแปรที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับคุณสมบัติของกระจก จะพบว่าตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) คือหนึ่งในคุณสมบัติของกระจก สามารถดูได้จากภาพที่ 1.3 “ค่าคุณสมบัติของกระจก” และจากสมการที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (SC) นั้นก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่เป็นค่าคุณสมบัติของกระจกและสามารถดูได้จากตารางค่าคุณสมบัติของกระจกได้เช่นกัน ซึ่งค่า U-Value หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ SC หรือสัมประสิทธิ์การบังเงานั้น เปลี่ยนไปตามคุณสมบัติของกระจกแต่ละชนิด ซึ่งในปัจจุบันกระจกได้ถูกพัฒนาไปอย่างกว้างขวางสามารถตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้งานได้มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเรื่องความปลอดภัย ป้องกันความร้อน ป้องกันอัคคีภัย ป้องกันการโจรกรรมและอื่นๆ อีกมากมาย เป็นต้น

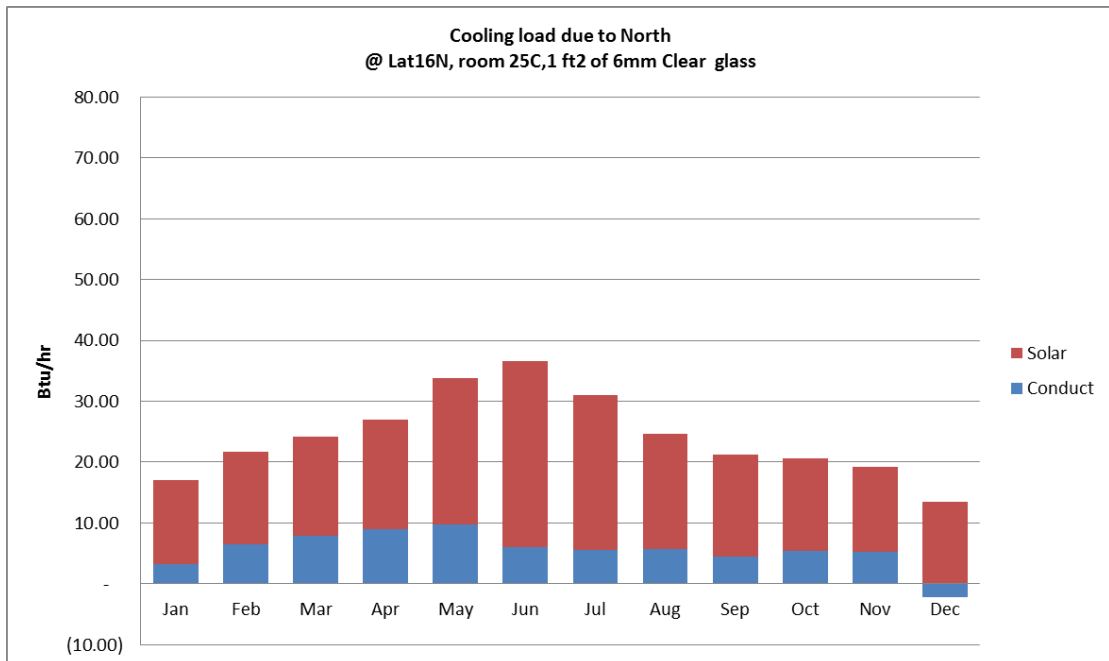
ดังนั้นจึงได้ทำเครื่องมือซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยคำนวณภาระการทำความเย็นตามที่ได้แสดงดังภาพที่ 3.1 ซึ่งนำค่าต่างๆจากตารางที่ระบุไว้ตามคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. รวมกับค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกปี 2556 จากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีที่ตอนเมือง [9] เพื่อใช้ในการคำนวณหาภาระการทำความเย็นของอาคาร ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวนี้จะรวมการคำนวณภาระการทำความเย็นของผนัง หลังคา กระจก การรั่วซึมของอากาศ เครื่องใช้ไฟฟ้า และความร้อนจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวแม้ว่าจะช่วยในการคำนวณโดยเพียงแค่เลือกตัวแปรต่างๆจากค่าที่มีให้ และใส่ค่าที่ต้องการออกแบบบางค่าเท่านั้น แต่การใช้งานก็ยังคงอาศัยความเข้าใจอีกมากในการใส่ค่าต่างๆ จึงทำให้โปรแกรมนี้อย่างไม่เหมาะกับการใช้งานในการเลือกใช้กระจกเท่าไรนัก แต่สามารถใช้ในการช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นได้

ดังนั้นจึงทดลองคำนวณหาภาระการทำความเย็นแยกตามตัวแปรค่า U-value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โคนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร กระจกติดตั้งในทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก ตะวันตก ตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ตะวันตกเฉียงใต้ และ ตะวันตกเฉียงเหนือ เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการเลือกใช้กระจกจากอิทธิพลที่เกิดขึ้นจากตัวแปร U-value และ SC ดังกล่าว ซึ่งได้ผลการคำนวณดังที่ได้แสดงในภาพที่ 3.2 ถึง ภาพที่ 3.9 ดังนี้

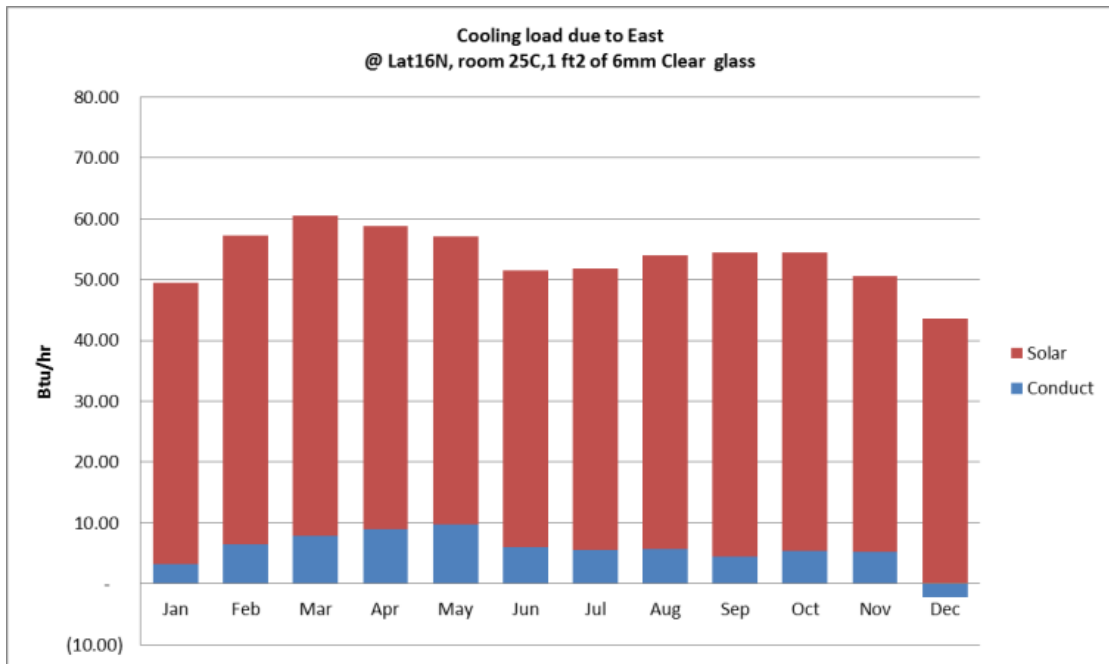
The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

- Orientation Section:**
 - Design North Latitude: 16
 - Design Month: APR/AUG
 - Design room temp (t_r): 25.00 C
 - Design outside air temp (t_o): 35.30 F, 36.50 C
 - Option to use all day outside temp: 4.11
 - Comfort zone: MRT 89.60 F, Delta Temp 7.00 C, Wind speed 10 km/hr, %RH 40%, So sensible temp. 30.66 C
 - Time axis from 1.00 to 24.00
- Roof Section:**
 - Columns: No.1, No.2, No.3, No.4
 - Design roof Color (k): 1
 - With or without suspended ceiling: 1
 - Floor no. (Table 29): 1
 - U-value Group: 0.134
 - Factor for attic fan and/or duct (f): 0.75
 - Roof area: 107.640 m²
 - Roof Direction: SE
 - CLTD corr for Latitude (LM): -3
- Wall Section:**
 - Columns: No.1, No.2, No.3, No.4
 - Design wall Color (k): 1
 - Select wall type (Table 30): 1st or 2nd
 - Wall group: Group C
 - U-value or Design wall U-value: 0.2375
 - Roof area: 107.640 m²
 - Roof/Wall facing direction: S
 - CLTD corr for Latitude (LM): -8.00

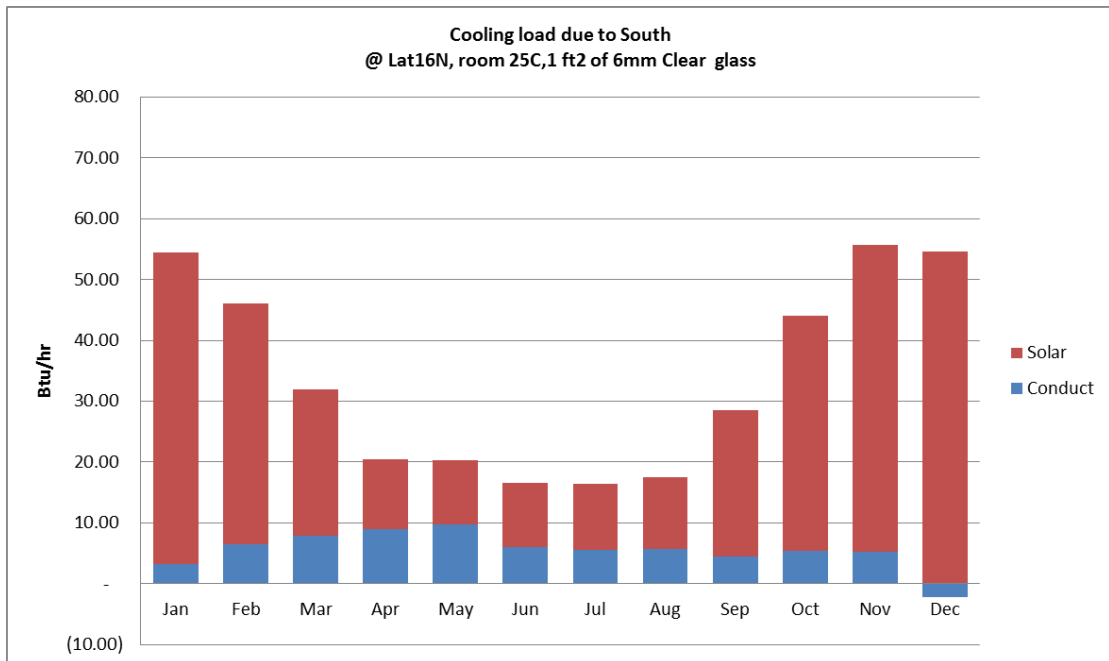
ภาพที่ 3.1 แสดงตัวอย่างโปรแกรมช่วยในการคำนวณภาระการทำความเย็น



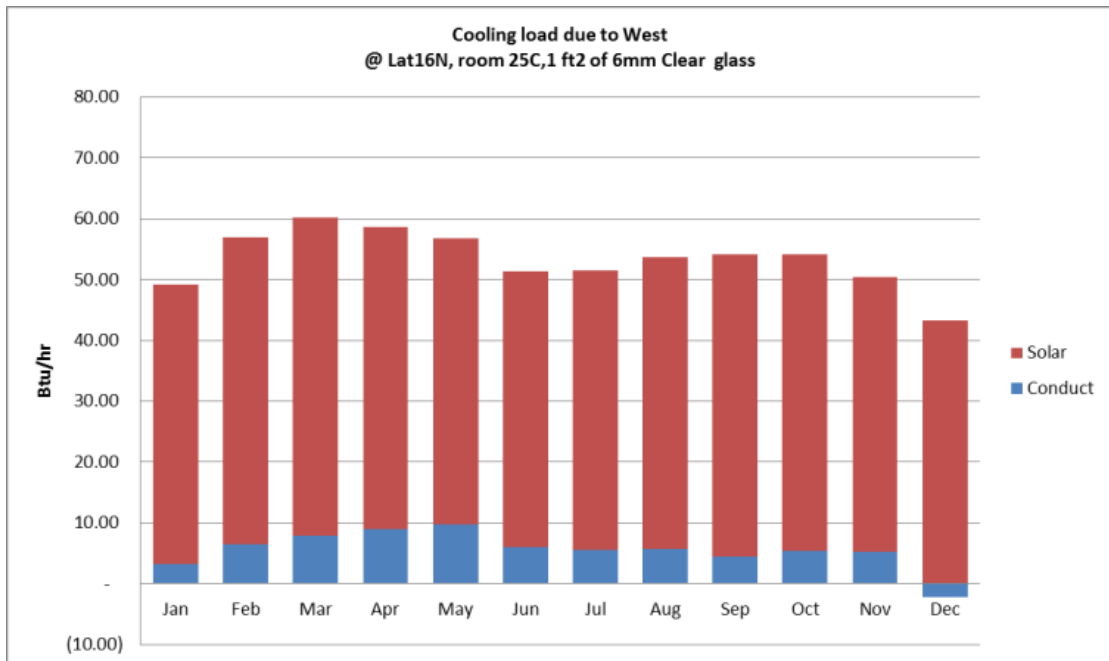
ภาพที่ 3.2 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นมากที่สุด แยกตามตัวแปรค่า U-value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โดนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศเหนือ



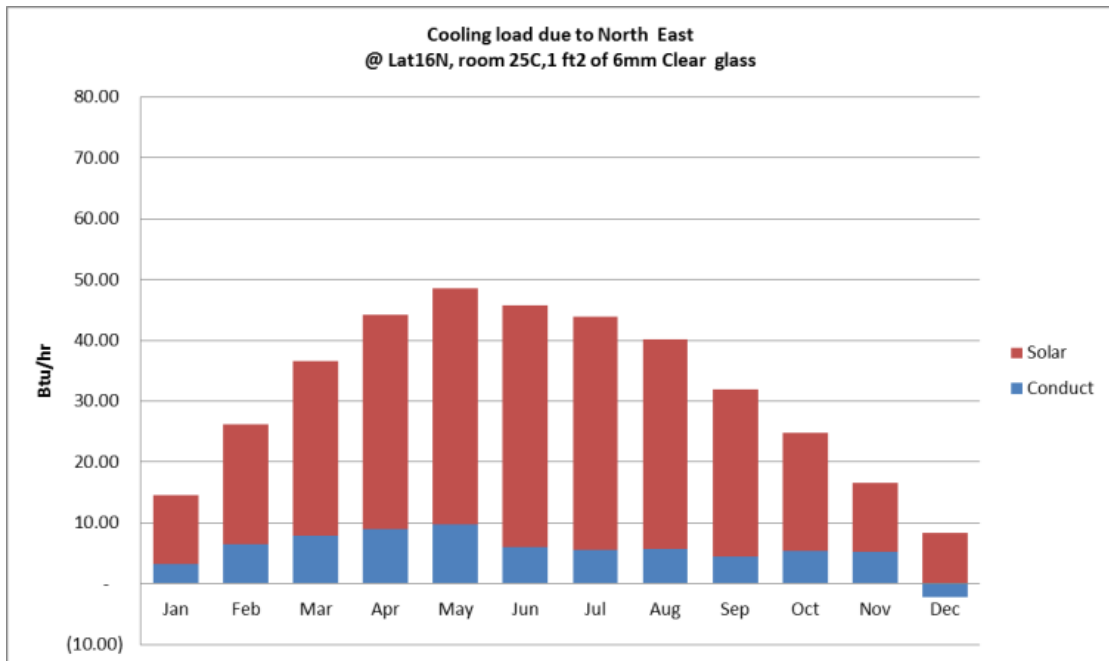
ภาพที่ 3.3 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นมากที่สุด แยกตามตัวแปรค่า U-value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โทนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศตะวันออก



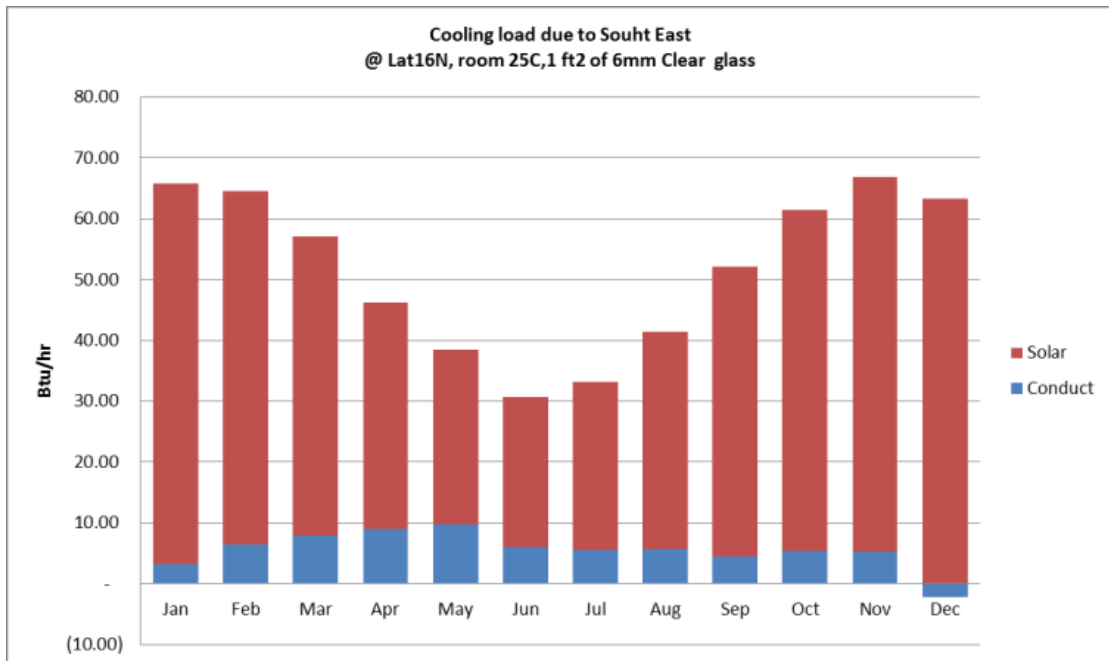
ภาพที่ 3.4 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นมากที่สุด แยกตามตัวแปรค่า U-value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โทนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศใต้



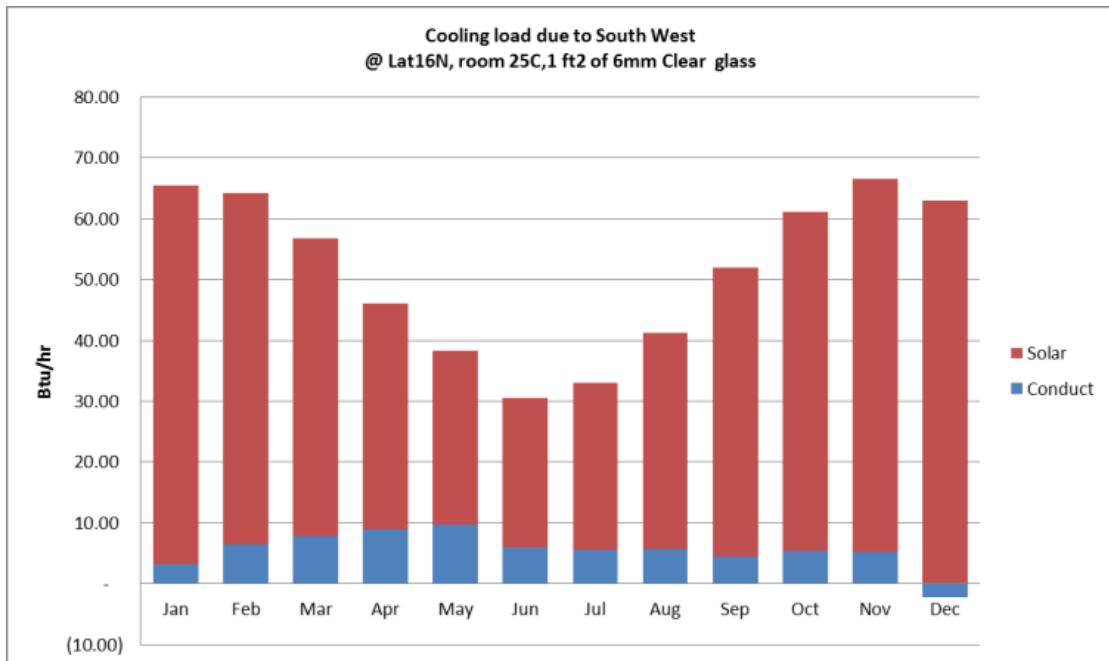
ภาพที่ 3.5 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นมากที่สุด แยกตามตัวแปรค่า U-value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โดนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศตะวันตก



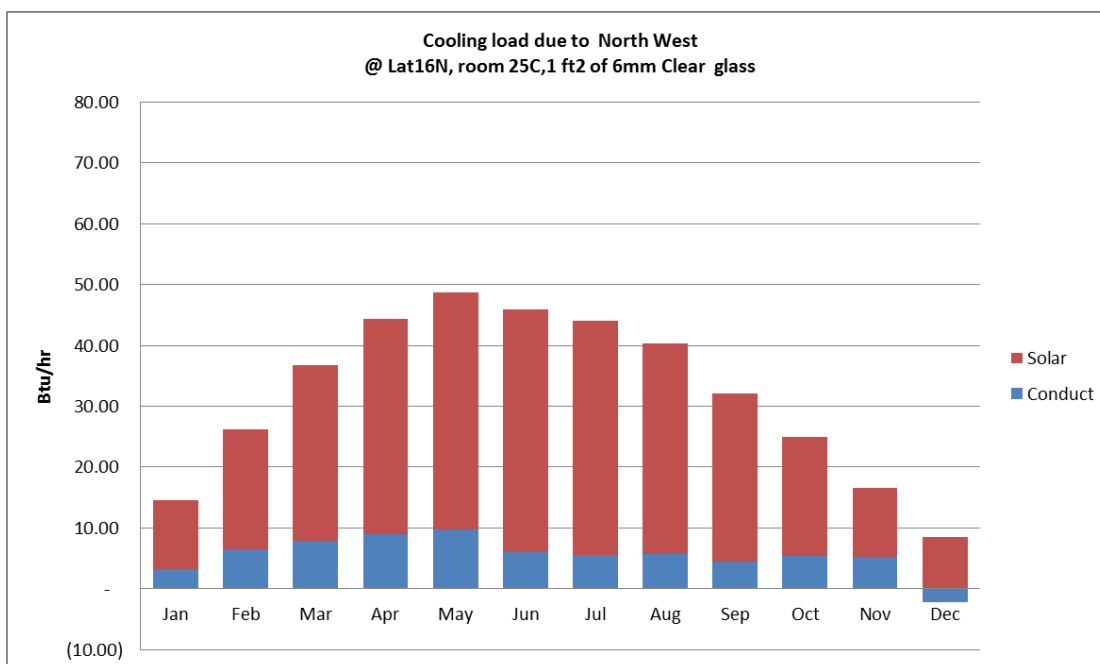
ภาพที่ 3.6 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นมากที่สุด แยกตามตัวแปรค่า U-value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โดนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 3.7 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นมากที่สุด แยกตามตัวแปรค่า U-value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โดนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศตะวันออกเฉียงใต้



ภาพที่ 3.8 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นมากที่สุด แยกตามตัวแปรค่า U-value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โดนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้

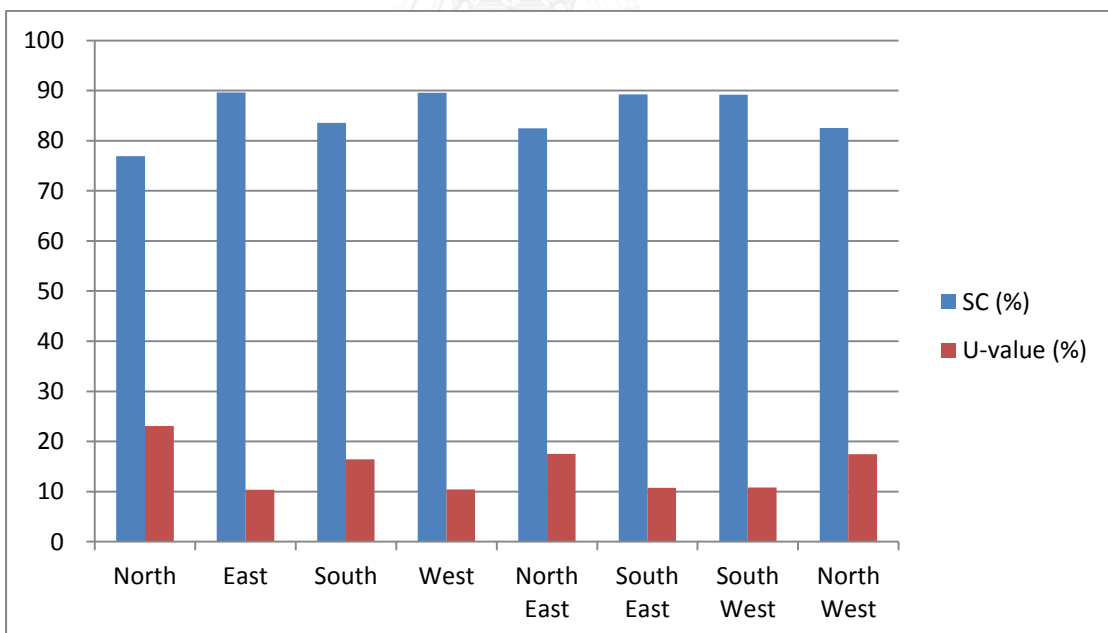


ภาพที่ 3.9 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นมากที่สุด แยกตามตัวแปรค่า U-value และ SC ของกระจกใส 6 มม. โดนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร และหันไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

จากผลการคำนวณตามภาพที่ 3.2 – ภาพที่ 3.9 สามารถสรุปเป็นอัตราส่วนร้อยละได้ตามตารางที่ 3.1 แสดงผลสรุปค่าการคำนวณภาระการทำความเย็นทุกทิศที่เกิดจากกระจกใส 6 มม. และภาพที่ 3.10 ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าอิทธิพลของตัวแปรค่า SC ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นโดยรวมประมาณร้อยละ 85 ส่วนอิทธิพลของตัวแปรค่า U-value ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นโดยรวมประมาณร้อยละ 15 ดังนั้นการออกแบบกระจกสำหรับเขตร้อนชื้นเช่นประเทศไทยนั้น ควรวิเคราะห์ลดภาระการทำความเย็นจากตัวแปร SC เป็นหลัก ซึ่งจะได้รับอิทธิพลมากกว่า แต่ถ้าหากสามารถลดภาระการทำความเย็นจากตัวแปร U-value ได้ด้วยก็จะยิ่งดีมากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 3.1 แสดงผลสรุปค่าการคำนวณภาระการทำความเย็นทุกทิศที่เกิดจากกระจกใส 6 มม.
จากภาพที่3.2 – ภาพที่3.9

Orientation	SC (%)	U-value (%)	Avg. (Btu/hr*ft ²)
North	77	23	24
East	90	10	53
South	84	16	34
West	90	10	53
North East	82	18	32
South East	89	11	52
South West	89	11	51
North West	83	17	32



ภาพที่ 3.10 แสดงผลสรุปค่าการคำนวณภาระการทำความเย็นทุกทิศที่เกิดจากกระจกใส 6 มม. จากภาพที่3.2 – ภาพที่3.9 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง เปรียบเทียบเป็นจำนวนร้อยละ

หลังจากนั้นวิเคราะห์ภาพที่ 3.2 – ภาพที่ 3.9 พบว่าในเดือนธันวาคม ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากตัวแปร U-value นั้นมีพื้นที่อยู่ใต้กราฟด้วย ซึ่งหมายความว่าภาระการทำความเย็นติดลบหรือเกิดเป็นผลดีกับการปรับอากาศ

ดังนั้นจึงทดลองคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของวัน โดยเลือกเดือนเมษายนที่ร้อนที่สุด และเดือนธันวาคมที่เย็นที่สุดของประเทศไทย จากตัวแปรค่า U-value ของกระจกใส 6 มม. ($U\text{-value} = 5.25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) เปรียบเทียบกับกระจกฉนวน Heat Stop ชนิดหนึ่ง ($U\text{-value} = 1.91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) โดมแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าสูงสุดของเดือนเมษายน และธันวาคม ของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร ซึ่งหันไปทางทิศใดก็ตามจะได้ค่าเท่ากัน ดังที่ได้แสดงในภาพที่ 3.11

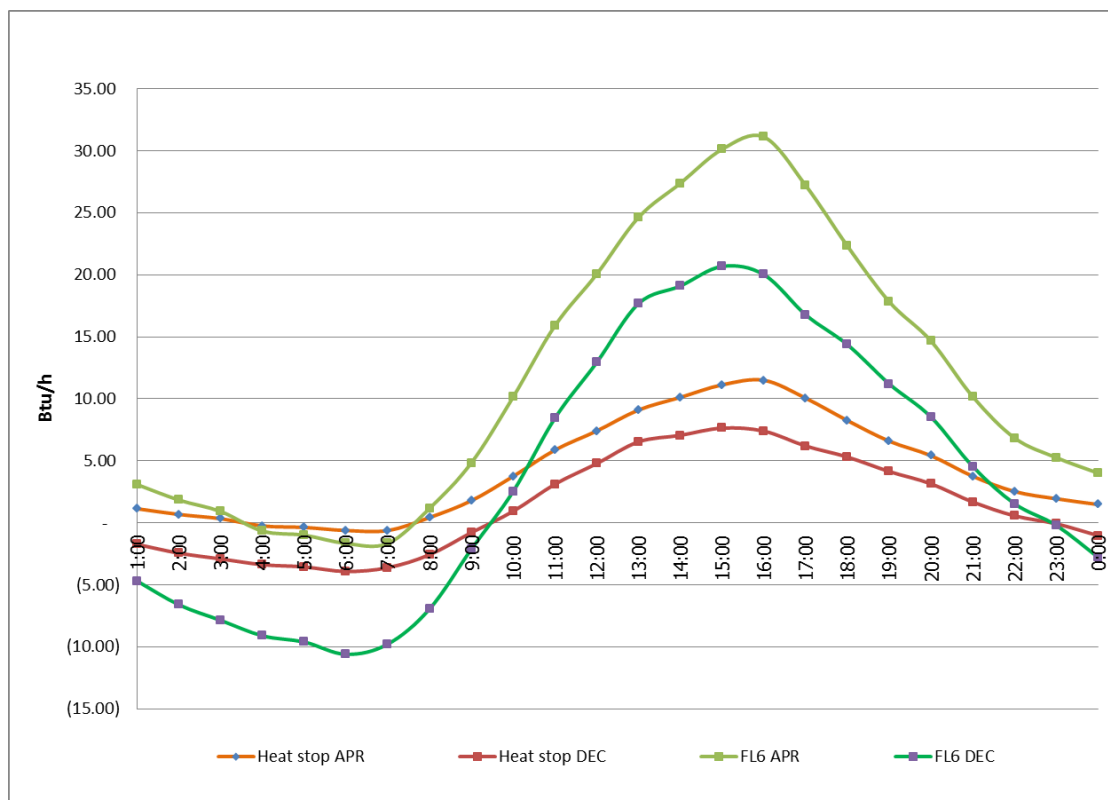
ซึ่งทำให้พบว่ากระจกที่มีค่า U-value สูงเช่นกระจกใส 6 มม. ทั่วไป ในช่วงเวลาระหว่าง 23:00 น. ถึง 9:00 น. ทั้งในช่วงเดือนธันวาคมและเดือนเมษายนนั้นเกิดภาระการทำความเย็นได้ กราฟหรือเป็นค่าติดลบ ส่งผลดีกับการอยู่อาศัยมากกว่ากระจกฉนวนที่มีค่า U-value ที่ต่ำกว่า ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เนื่องจากค่า U-value ที่ต่ำนั้นสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสู่ภายในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าได้ดีในช่วงเวลากลางวัน แต่เวลากลางคืนกลับทำให้การถ่ายเทความร้อนจากภายในอาคารที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกนั้นทำได้น้อยตามไปด้วยเช่นกัน

แต่เมื่อวิเคราะห์จากภาพที่ 3.12 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกวัดที่สถานีดอนเมือง จะพบว่าเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียสนั้น ส่วนใหญ่มีแค่ช่วงกลางคืนของเดือนธันวาคม และเดือนมกราคมในช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น แต่ในเดือนอื่นๆที่เหลือของปีนั้น พยว่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่สูงเกิน 25 องศาเซลเซียสตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน ดังนั้นอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกของกรุงเทพฯ ส่วนใหญ่ของปีนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการปรับแต่งสภาพอากาศภายในอาคารให้อยู่ในขอบเขตสบาย การที่จะเลือกใช้กระจกที่มีค่า U-value สูงๆ เพื่อที่จะรับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกในเวลากลางคืนนั้นทำได้เพียงช่วงเวลาสั้นๆของปีเท่านั้น หรือกับอาคารที่มีช่วงเวลากการใช้อาคารเฉพาะตอนกลางคืนและเป็นอาคารที่ไม่กักเก็บความร้อนจากตอนกลางวันไว้

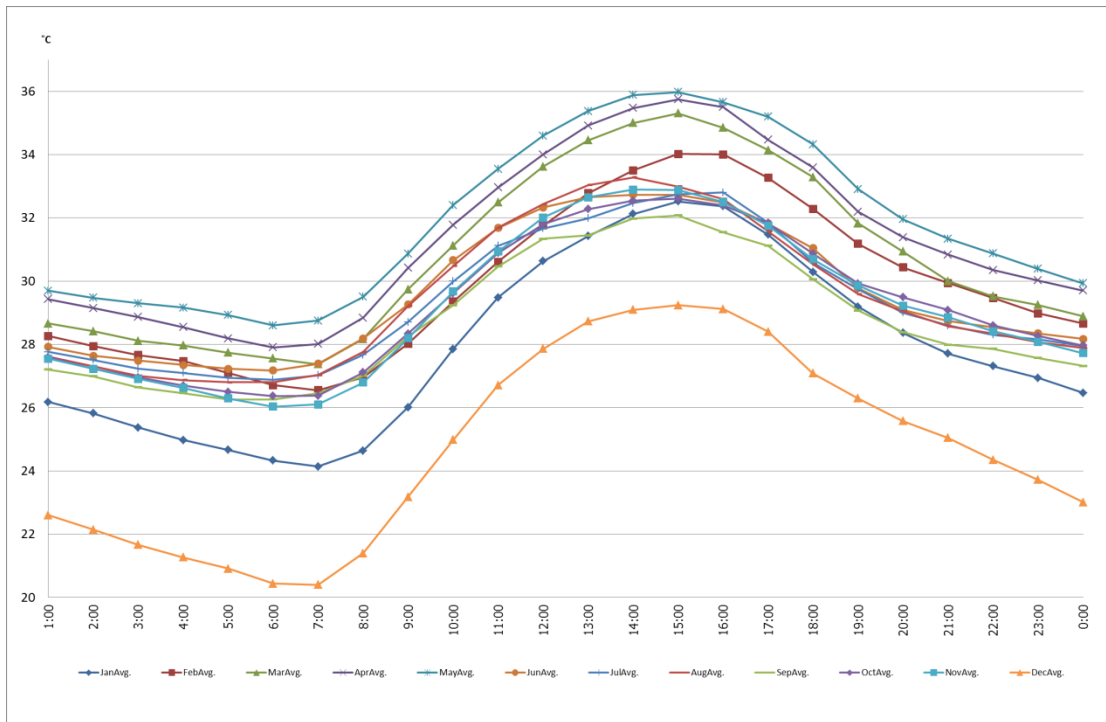
หากจะวิเคราะห์สำหรับอาคารที่มีการปรับสภาพอากาศภายในอาคารตลอดเวลา การเลือกใช้กระจกที่มีค่า U-value ต่ำนั้นจะเป็นทางออกที่ดีกว่า เนื่องจากเมื่อเราได้ป้องกันกันเข้ามาของภาระการทำความเย็นแล้ว และใช้เครื่องปรับอากาศในการดึงเอาความร้อนจากภายในอาคารไปทิ้งสู่ภายนอกตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อถึงช่วงกลางคืนความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวอาคารก็จะน้อย ถึงแม้จะไม่

สามารถถ่ายเทผ่านกระจกออกไปได้มาก แต่เครื่องปรับอากาศที่ทำงานไม่หนักในตอนกลางคืนนั้นก็เพียงพอที่จะดึงความร้อนออกไปได้ไม่เกิดความร้อนสะสมอยู่ในตัวอาคาร

แต่หากเป็นอาคารที่ไม่ปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืน กระจกที่มีค่า U-value สูงๆ นั้น จะส่งผลดีกว่าที่จะยอมให้ความร้อนจากภายในอาคารถ่ายเทออกสู่ภายนอกได้ดีกว่า



ภาพที่ 3.11 ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของวัน โดยเลือกเดือนเมษายนที่ร้อนที่สุด และเดือนธันวาคมที่เย็นที่สุด จากตัวแปรค่า U-value ของกระจกใส 6 มม. ($U\text{-value} = 5.25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) เปรียบเทียบกับกระจกฉนวน Heat Stop ประเภทหนึ่ง ($U\text{-value} = 1.91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) โดนแสงอาทิตย์ ที่แลตติจูด 16 องศาเหนือ ต่อพื้นที่ของกระจก 1 ตารางฟุต โดยกำหนดให้อุณหภูมิห้องคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นค่าสูงสุดของเดือนเมษายน และธันวาคม ของปี 2556 มีวัสดุบังเงาภายในอาคาร



ภาพที่ 3.12 แสดงอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยในแต่ละเดือน ตลอดปี 2556 วัดที่สถานีดอนเมือง กรมอุตุนิยมวิทยา [9] (องศาเซลเซียส)

3.2 วิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย ที่มีความสัมพันธ์กับการออกแบบกระจก

จากการศึกษาในเรื่องความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสภาวะน่าสบายนั้น เราสามารถสรุปความสัมพันธ์ของสภาวะน่าสบายกับภาระการทำความเย็นได้ดังนี้

1 อุณหภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิภายในอาคารที่เราต้องการออกแบบ โดยเป็นอุณหภูมิจริงที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง หรือเป็นค่า t_R ที่พบได้จากสมการทั้งหมดที่กล่าวมา ซึ่งโดยปรกตินั้นเราจะควบคุมด้วยเครื่องปรับอากาศให้อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส

2 ความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการ 2.12 สามารถส่งผลให้เราสามารถปรับลด t_R ได้มากขึ้นหรือน้อยลง ให้เหมาะสมกับสภาวะน่าสบายของมนุษย์ ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์นี้เป็นค่าที่ควบคุมได้ยาก แต่เนื่องจากเขตร้อนชื้นนั้นจะมีความชื้นในอากาศเพียงพออยู่แล้วจึงไม่มีการควบคุมมากนัก

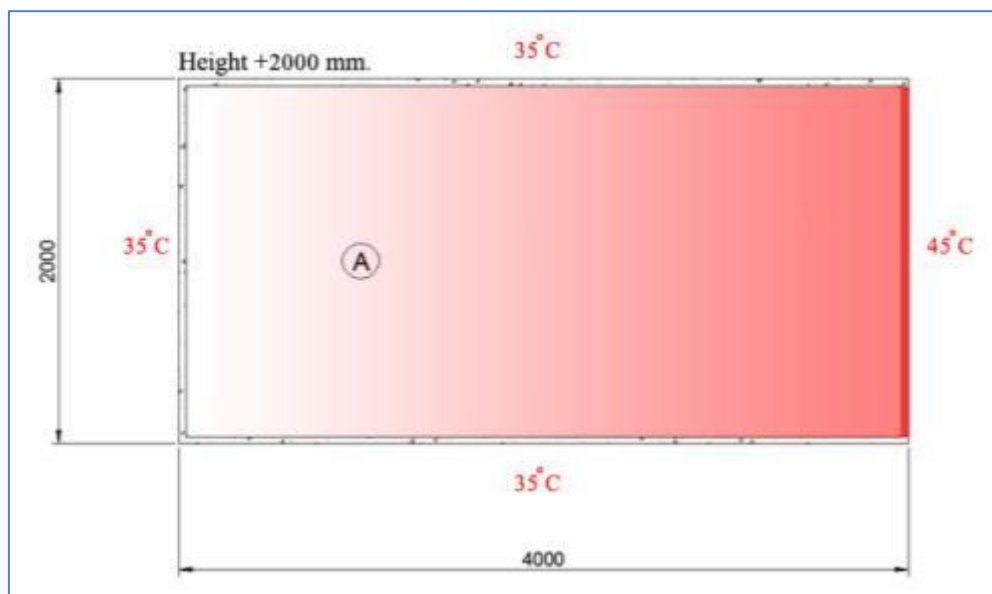
3 ความเร็วลม ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการ 2.12 เช่นเดียวกับความชื้นสัมพัทธ์ สามารถควบคุมโดยการใช้พัดลมภายในอาคารเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนอากาศและส่งผลให้เกิดความรู้สึกเย็นมากขึ้น

4 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ หรือ MRT – Mean Radiant Temperature ซึ่งส่วนต่าง 1 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบที่วัดได้ลบจากอุณหภูมิอากาศขณะนั้น จะทำให้รู้สึกเหมือนอุณหภูมิที่รู้สึกได้มีค่าแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศ 1.4 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า MRT นั้นสามารถคำนวณหาได้ 2 วิธีดังนี้

4.1 คำนวณหาได้จากการหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวคูณด้วยพื้นที่ ดังสมการต่อไปนี้

$$MRT = T_1A_1 \times T_2A_2 \times \dots \times T_nA_n / (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \quad (\text{สมการที่ 3.1}) [10]$$

ตัวอย่างที่ 1 สมมุติให้ห้องหนึ่งมีพื้นที่และอุณหภูมิผิวโดยรอบตามที่แสดงดังรูปด้านล่าง ซึ่งผนังทั้งสามด้านนั้นมีค่าอุณหภูมิผิวที่เท่ากันที่ 35 องศาเซลเซียส แต่มีผนังอีกด้านหนึ่ง (สมมุติให้เป็นกระจกใส 6 มม.) ที่อุณหภูมิผิวสูงกว่าคือ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.13 แสดงตัวอย่างการวัด MRT ด้วยวิธีพื้นที่อุณหภูมิ

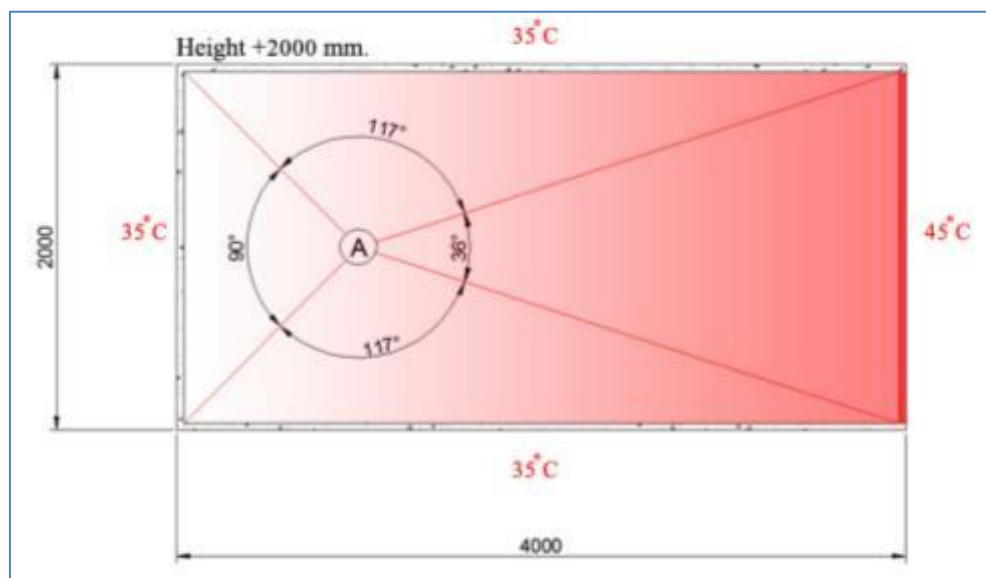
ค่า MRT สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{MRT} &= (35 \times 4) + (35 \times 8) + (35 \times 8) + (45 \times 4) / (4 + 8 + 4 + 8) \\ &= 36.67 \text{ องศาเซลเซียส} \end{aligned}$$

4.2 คำนวณหาได้จากการหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวคูณด้วยมุมที่เปิดสู่พื้นที่ผิว ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{MRT} = T_1\theta_1 + T_2\theta_2 + \dots + T_x\theta_x / (\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_x) \quad (\text{สมการที่ 3.2}) [10]$$

ตัวอย่างที่ 2 สมมุติให้ห้องหนึ่งมีพื้นที่และอุณหภูมิผิวโดยรอบเท่าตัวอย่างที่ 1 แต่ทำการวัดมุมที่เปิดสู่พื้นผิวโดยรอบตามที่แสดงในรูป วัดค่า MRT ณ ตำแหน่ง A



ภาพที่ 3.14 แสดงตัวอย่างการวัด MRT ด้วยวิธีมุมอุณหภูมิที่จุด A ไกลจากแหล่งความร้อน

ค่า MRT สามารถคำนวณได้ดังนี้

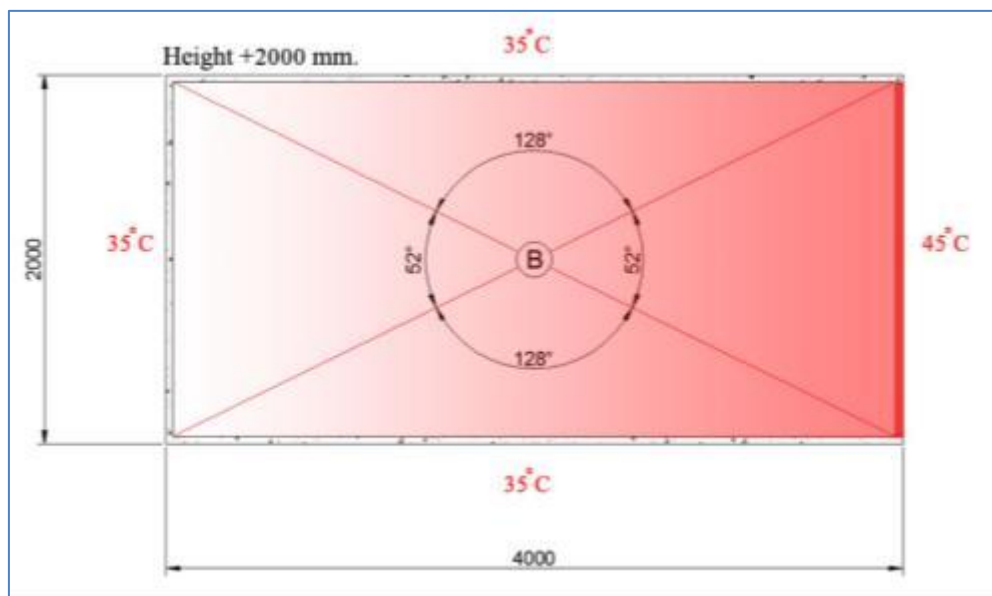
$$\begin{aligned} \text{MRT @A} &= (35 \times 90) + (35 \times 117) + (35 \times 117) + (45 \times 36) / (90 + 117 + 117 + 36) \\ &= 36.00 \text{ องศาเซลเซียส} \end{aligned}$$

การที่ MRT มีค่า 36 องศาเซลเซียส เท่ากับว่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศอยู่ 11 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เรารู้สึกเท่ากับ 1.4 เท่าของความต่าง หรือเท่ากับเรารู้สึกว่าอุณหภูมิขณะนั้นสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 15.4 องศาเซลเซียส เท่ากับเรารู้สึกว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้นเท่ากับ 40.4 องศาเซลเซียส

หากสมมุติว่าห้องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส ภาระการทำความเย็นผ่านกระจกใส 6 มม. ผ่านพื้นที่ 4 ตารางเมตร ที่ทิศตะวันออก เดือนเมษายน มีภาระการทำความเย็นซึ่งได้จากการคำนวณตามคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. มีค่าประมาณ 2592.45 บีทียูต่อชั่วโมง

แต่เมื่อเรารู้สึกว่าอากาศขณะนั้นอยู่ที่ 40.4 องศาเซลเซียส เราจึงต้องปรับอุณหภูมิลงอีก 15.4 องศาเซลเซียสจากเดิม หรือเท่ากับอุณหภูมิอากาศภายในที่ 9.6 องศาเซลเซียส เมื่อคำนวณแล้วกระจกแผ่นนี้จะมีภาระการทำความเย็นเท่ากับ 2914.25 บีทียูต่อชั่วโมง

เมื่อจุดที่เราทำการวัดขยับจากเดิมที่จุด A มาที่จุด B ซึ่งเข้าใกล้ผนังด้านที่มีอุณหภูมิผิวน้อยกว่าสูงนั้น สามารถคำนวณหาค่า MRT ที่ได้ดังนี้



ภาพที่ 3.15 แสดงตัวอย่างการวัด MRT ด้วยวิธีมุมอุณหภูมิที่จุด B ใกล้จากแหล่งความร้อน

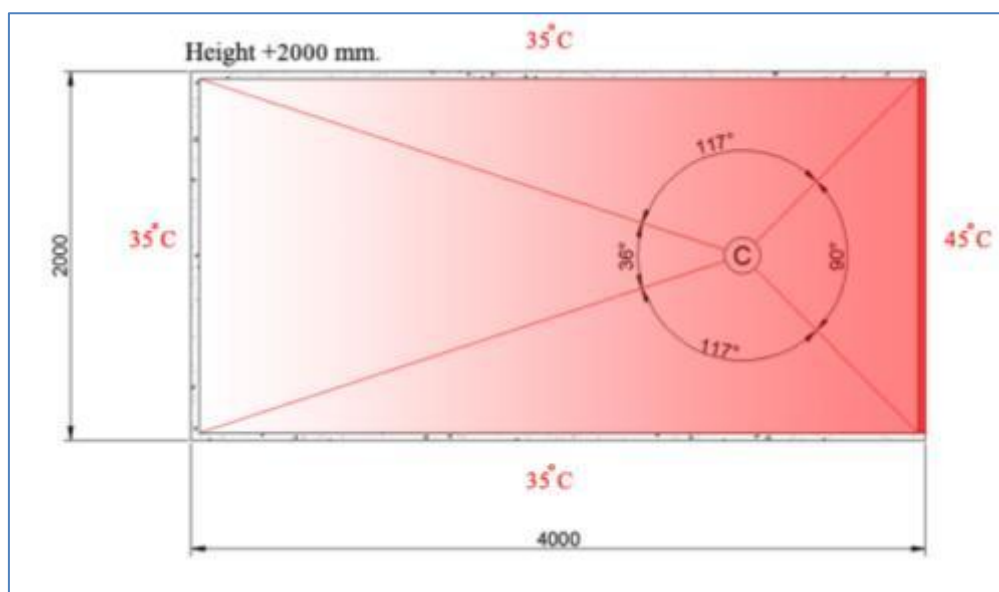
ค่า MRT สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{MRT @B} &= (35 \times 52) + (35 \times 128) + (35 \times 128) + (45 \times 52) / (52 + 128 + 128 + 52) \\ &= 36.44 \text{ องศาเซลเซียส} \end{aligned}$$

การที่ MRT มีค่า 36.44 องศาเซลเซียส เท่ากับว่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศอยู่ 11.44 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เรารู้สึกเท่ากับ 1.4 เท่าของความต่าง หรือเท่ากับเรารู้สึกว่าอุณหภูมิขณะนั้นสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 16.02 องศาเซลเซียส เท่ากับเรารู้สึกว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้นเท่ากับ 41.02 องศาเซลเซียส

สมมุติว่าเดิมห้องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเรารู้สึกว่าอากาศขณะนั้นอยู่ที่ 41.02 องศาเซลเซียส เราจึงต้องปรับอุณหภูมิลงอีก 16.02 องศาเซลเซียสจากเดิม หรือเท่ากับอุณหภูมิอากาศภายในที่ 8.98 องศาเซลเซียส เมื่อคำนวณแล้วกระจกแผ่นนี้จะมีภาระการทำความเย็นเท่ากับ 2927.20 บีทียูต่อชั่วโมง

และเมื่อทำการขยับจุดที่ทำการวัดมาที่จุด C ซึ่งใกล้กับพื้นผิวที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.16 แสดงตัวอย่างการวัด MRT ด้วยวิธีมุมอุณหภูมิที่จุด C ไกลจากแหล่งความร้อน

ค่า MRT สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{MRT @C} &= (35 \times 36) + (35 \times 117) + (35 \times 117) + (45 \times 90) / (36 + 117 + 117 + 90) \\ &= 37.50 \text{ องศาเซลเซียส} \end{aligned}$$

การที่ MRT มีค่า 37.50 องศาเซลเซียส เท่ากับว่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศอยู่ 12.50 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เรารู้สึกเท่ากับ 1.4 เท่าของความต่าง หรือเท่ากับเรารู้สึกว่าอุณหภูมิขณะนั้นสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 17.50 องศาเซลเซียส เท่ากับเรารู้สึกว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้นเท่ากับ 42.50 องศาเซลเซียส

หากสมมุติว่าเดิมห้องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเรารู้สึกว่าอากาศขณะนั้นอยู่ที่ 42.50 องศาเซลเซียส เราจึงต้องปรับอุณหภูมิลงอีก 17.50 องศาเซลเซียสจากเดิม หรือเท่ากับอุณหภูมิอากาศภายในที่ 7.50 องศาเซลเซียส เมื่อคำนวณแล้วกระจกแผ่นนี้จะมีภาระการทำความเย็นเท่ากับ 2958.13 บีทียูต่อชั่วโมง

จากตัวอย่างข้างต้น จะพบว่าเมื่อเราขยับเข้าใกล้พื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เราได้รับอิทธิพลมากขึ้นจาก MRT ที่สูงขึ้น ส่งผลทำให้เรารู้สึกร้อนมากขึ้น ดังนั้นผิวกระจกเองที่ออกแบบก็ควรที่จะต้องมีอุณหภูมิผิวที่ต่ำเพื่อลดอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนเข้าหาผู้อยู่อาศัย ซึ่งกระจกที่มี

อุณหภูมิผิวที่ต่ำได้แก่กระจกฉนวนที่ติดตั้งอย่างถูกต้องจะสามารถลดอุณหภูมิผิวของกระจกแผ่นด้านในอาคารได้ ส่งผลให้ MRT ลดลงด้วย

5 ลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่ ซึ่งโดยทั่วไปนั้นการอยู่อาศัยภายในบ้านจะสวมเสื้อผ้าแบบลำลอง ซึ่งผลกระทบจากลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่กำหนดให้อยู่ในเขตสบายระดับที่ 1 ตามที่แสดงในรูป 2.42

6 อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย ซึ่งอ้างอิงตามกิจกรรมต่างๆที่ทำ ซึ่งกิจกรรมที่ทำสำหรับผู้อยู่อาศัยในบ้านนั้นก็จะเป็นกิจกรรมแบบลำลองเช่นเดียวกัน จึงกำหนดให้อยู่ในเขตสบายระดับที่ 1 ตามที่แสดงในรูป 2.42 เช่นเดียวกับลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่ ดังนั้นจึงสามารถขยายขอบเขตนำสบายออกไปได้ ทำให้สามารถปรับแต่ง t_{R} ได้สูงขึ้นถึงประมาณ 31 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 68 ทำให้การอยู่อาศัยในบ้าน สามารถลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศได้มากขึ้น

3.3 สรุปหาแนวทางการออกแบบกระจก จากการวิเคราะห์ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นของคุณสมบัติกระจก และจากการวิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย เพื่อนำมาจัดทำเครื่องมือหรือแนวทางช่วยในการออกแบบกระจก

1 วิเคราะห์ผลที่ได้รับจากการศึกษาในด้านของภาระการทำความเย็นจากที่ได้กล่าวมาในตอนต้น รวมถึงโปรแกรมที่เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณ

2 สรุปผลงานวิจัยให้เป็นแนวทางในการเลือกกระจก โดยจัดทำเป็นเครื่องมือที่ง่ายกับผู้ใช้งาน และสามารถระบุแนวทางการเลือกอย่างง่ายได้

3 อภิปรายผลงานวิจัย ความคุ้มค่าของงานวิจัยที่ได้รับ

4 รายงานผลการวิจัย

บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย

4.1 สรุปผลจากการศึกษาการคำนวณภาระการทำความเย็นที่ผ่านกระจก ตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals.

1 จากการศึกษาการคำนวณภาระการทำความเย็นจากหัวข้อที่ 2.1.3 พบว่าตัวแปรคุณสมบัติของกระจกที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นในอาคารได้แก่ตัวแปร U-value และ SC ที่สามารถทราบค่าได้จากผู้ผลิตกระจกชนิดที่นำมาใช้ ซึ่งมีผลตามสมการคำนวณดังนี้

$$Q_{(\text{conduct})} = U \cdot A \cdot \text{CLTD}_{\text{correction}} \quad (\text{สมการที่ 2.6}) [5]$$

$$Q_{(\text{solar})} = A \cdot \text{SHGF} \cdot \text{SC} \cdot \text{CLF} \quad (\text{สมการที่ 2.8}) [5]$$

ส่วนตัวแปรอื่น ๆ นั้นสามารถหาได้จากตารางหรือจากการออกแบบซึ่งไม่เกี่ยวกับคุณสมบัติของกระจก

2 จากการศึกษาโดยการคำนวณด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาช่วยในการคำนวณภาระการทำความเย็นตามภาพที่ 3.1 ซึ่งสรุปได้ตามภาพที่ 3.10 พบว่าตัวแปรค่า SC มีอิทธิพลกับภาระการทำความเย็นสูงสุด โดยประมาณร้อยละ 85 และตัวแปรค่า U-value มีอิทธิพลประมาณร้อยละ 15 ดังนั้น การเลือกใช้กระจกที่จะสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นได้ดั่งนั้นควรเลือกกระจกที่มีค่า SC ต่ำก่อน หรือกระจกไม่ควรถูกแสงแดดโดยตรงเพื่อช่วยลดอิทธิพลของภาระการทำความเย็นที่จะเข้าสู่ภายในอาคารจากแสงอาทิตย์ ซึ่งกระจกฉนวนชั้นดัดนั้น ค่า SC อยู่ที่ 0.50 โดยประมาณ หลังจากนั้นวิเคราะห์ให้ค่า U-value ต่ำไว้ด้วยก็จะยิ่งดีสำหรับอาคารปรับอากาศที่อยู่ในเขตร้อนชื้นเช่นประเทศไทยที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากอากาศภายนอกอาคารค่อนข้างน้อยในแต่ละปี หรือถ้าหากเป็นอาคารที่มีรูปแบบการใช้งานเพียงแค่อาคารกลางคืนเท่านั้นสามารถเลือกกระจกที่มีค่า U-value สูงได้ แต่ก็ควรระวังเรื่องของภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นตอนกลางวันและจะสะสมไว้กับมวลของวัสดุอาคารต่างๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงช่วงเวลากลางคืนได้

3 จากการศึกษาภาพที่ 1.3 ตารางคุณสมบัติของกระจก ทำให้ทราบว่าควรเลือกให้กระจกมีค่า Ke สูง เนื่องจากค่า Ke เป็นค่าอัตราส่วนของปริมาณแสงสว่างต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกเข้ามา อัตราส่วนนี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพหรือเป็นเหมือนกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพของกระจกที่ยอมให้แสงเข้ามามากแต่ความร้อนเข้ามาน้อย และหาก Visible Light Transmission สูงด้วยจะยิ่งดี เพื่อลดปริมาณพื้นที่ช่องเปิดให้น้อยที่สุดเท่าที่แสงพอเพียง

โดยทั่วไปเราสามารถบ่งบอกได้คร่าวๆว่าปริมาณแสงที่เข้ามาภายในอาคารมากหรือน้อยจากการมองด้วยตาเปล่า แต่เราไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าแสงที่เข้ามานั้นมีส่วนสัดส่วนของความร้อนแฝงเข้า

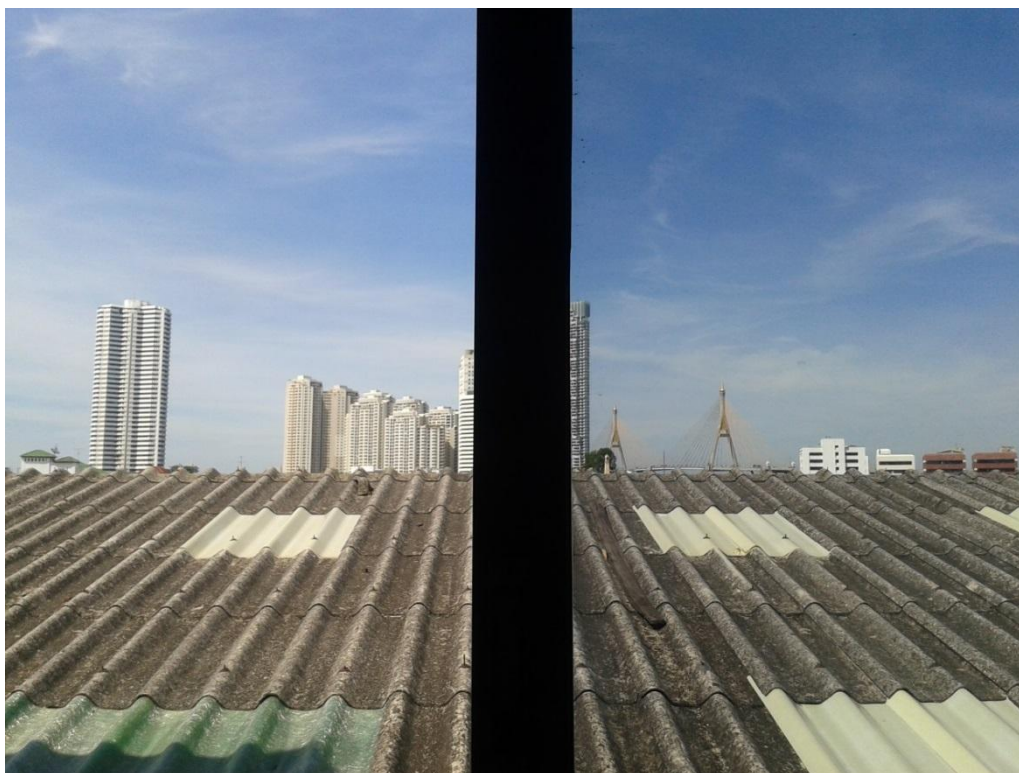
มาด้วยจากตัวแปรการแผ่รังสีดวงอาทิตย์มากน้อยเพียงใด ดังนั้นเราใช้ค่าคุณสมบัติ Ke นี้เพื่อบ่งชี้ว่าแสงที่เข้ามานั้นมีคุณภาพดีหรือไม่ คือได้ปริมาณแสงที่มากแต่มีความร้อนเข้ามาจากตัวแปรการแผ่รังสีความร้อนน้อย โดยใช้อัตราส่วนของปริมาณแสงสว่างต่อปริมาณความร้อน ซึ่งสามารถดูค่า Ke ได้จากตารางค่าคุณสมบัติของกระจกจากบริษัทผู้ผลิตดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 1.3

จากการศึกษาอาคารที่มีการใช้กระจกซึ่งมีค่าปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านเข้ามานั้น โดยใช้กระจกเคลือบผิวควบคุมแสงสว่างหรือ Solar control glass (FL6 SE) ค่าการส่องสว่างที่ 60% นั้นสามารถให้แสงสว่างจากการมองด้วยตาที่ไม่แตกต่างจากการเปิดช่องโถงมากนัก แต่ยังสามารถช่วยลดปริมาณแสงสว่างที่มากจนเกินไปด้วย อีกทั้งสภาพภายนอกที่มองจากภายในอาคารออกไปนั้น ยังไม่รู้สึกรู้สีกแตกต่างจนรู้สึกบดบังทัศนวิสัยหรือทิวทัศน์ภายนอก ซึ่งสามารถดูได้จากภาพที่ 4.1

ดังนั้นการเลือกกระจกที่มีปริมาณแสงสว่างส่องผ่านมากแต่เพียงอย่างเดียว นั้นจะทำให้ความร้อนเข้ามาและแสงสว่างที่เข้ามามากเกินไปจนความจำเป็นอีกด้วย เราจึงควรวิเคราะห์ค่า Ke ร่วมกันกับค่าปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านเข้ามา ซึ่งจากภาพที่ 1.3 จะพบว่ากระจก FL6 SE นั้นมีค่าปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านเหมาะสม อีกทั้งยังได้ค่า Ke ที่สูงอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านเข้ามาจะมีค่าที่เหมาะสมเท่าไรนั้น ต้องวิเคราะห์ถึงตำแหน่งและขนาดของช่องเปิด รวมถึงทิศด้วย เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ส่งผลรวมกับปริมาณแสงและคุณภาพของแสงที่ส่องผ่านเข้ามาทั้งหมดภายในห้อง

ค่า Ke ที่เหมาะสมอย่างน้อยที่สุดควรจะเท่ากับ 100 ซึ่งหมายความว่าปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาเท่ากับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น

ส่วนของค่า Visible light Transmission นั้น ไม่สามารถบอกได้ว่าควรเป็นค่าที่เท่าไรจึงจะเหมาะสม เพราะความต้องการปริมาณแสงสว่างเท่าใดในอาคารนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งและขนาดของช่องเปิด แต่ถ้าหากจะวิเคราะห์ให้ง่ายคือให้มีค่ามากที่สุดและทำการลดพื้นที่ช่องเปิดแทนเพื่อให้ได้ปริมาณแสงสว่างที่เพียงพอกับการใช้งาน ดังนั้นค่าจึงไม่ควรน้อยเกินไป หากใช้กระจก Solar control glass (FL6 SE) เป็นค่าอ้างอิงแล้วก็ควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป



ภาพที่ 4.1 เปรียบเทียบความสว่างของช่องเปิดโล่งที่มีปริมาณแสงสว่างส่องผ่านระหว่างกระจกใส 6 มม. (ซ้าย) ที่มีปริมาณแสงสว่างส่องผ่านร้อยละ 88 กับกระจก Solar control 6 มม. (ขวา) ที่มีปริมาณแสงสว่างส่องผ่านร้อยละ 60

4.2 สรุปผลจากการวิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย

จากการศึกษาหัวข้อ 3.2 และตัวอย่างการคำนวณค่า MRT พบว่าอุณหภูมิผิวของกระจกมีผลทำให้ความรู้สึกสบายของมนุษย์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นกระจกที่ตีควรรอบแบบให้มีผิวกระจกที่เย็นหรือเท่ากับอุณหภูมิอากาศขณะนั้น เพื่อลดอิทธิพลของ MRT รวม ซึ่งได้แก่กระจกประเภทกระจกฉนวน เนื่องจากกระจกฉนวนนั้น ความร้อนจะถูกดูดซับไว้ที่กระจกแผ่นด้านนอกอาคารและส่งผ่านมายังกระจกแผ่นในได้น้อยเนื่องจากมีช่องว่างอากาศที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นการถ่ายเทความร้อน จึงทำให้กระจกแผ่นด้านในอาคารนั้นมีความร้อนส่งผ่านเข้ามาน้อยไม่ดูดซับไว้ที่กระจกน้อย จึงทำให้ผิวกระจกมีอุณหภูมิผิวที่เย็นกว่าเมื่อเทียบกับกระจกชั้นเดียวทั่วไปที่ไม่มีช่องว่างอากาศ

ส่วนตัวแปรในเรื่องของอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายและตัวแปรเสื้อผ้าที่สวมใส่สำหรับการอยู่อาศัยในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นนั้น ส่วนมากเกิดจากกิจกรรมแบบลำลอง ซึ่งส่งผลให้ขอบเขตของสภาวะน่าสบายสามารถขยายเพิ่มขึ้นสูงได้ถึงประมาณ 31 องศาเซลเซียส แต่อิทธิพลของ MRT ที่รวมทั้งผนังและหลังคาของบ้านเดี่ยวที่ออกแบบในปัจจุบันสำหรับเมืองร้อนชื้นนั้นค่อนข้างสูง ทำให้ได้รับผลเสียจากอิทธิพลของ MRT มากกว่า

ในส่วนของการขึ้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ซึ่งมีผลที่ทำให้รู้สึกสบายเช่นกัน และสามารถปรุงแต่งจากการออกแบบบ้านให้เหมาะสมได้ ซึ่งส่งผลให้เราสามารถปรับอุณหภูมิภายในห้องให้เหมาะสมกับความชื้นหรือหนาวได้ ซึ่งส่งผลกับพลังงานที่ต้องเสียไปในการปรับอากาศ

ดังนั้นสำหรับการออกแบบกระจกที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์ถึงสภาวะน่าสบายนั้น กระจกที่สามารถลดอิทธิพลของความร้อนโดยรอบหรือ MRT นั้น ควรเป็นกระจกฉนวนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อีกทั้งกระจกชั้นนอกที่อยู่ติดภายนอกอาคารนั้นจะเป็นกระจกชั้นที่ดูดซับความร้อนไว้ แต่ผิวกระจกด้านในจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเนื่องจากช่องว่างอากาศระหว่างชั้นของกระจกจะทำหน้าที่ป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากกระจกชั้นนอกสู่กระจกชั้นใน ทำให้ผิวกระจกชั้นในเย็นกว่า เราจึงควรเลือกใช้กระจกฉนวนสำหรับบ้านที่ต้องการลดอิทธิพลของ MRT ที่เกิดขึ้น

หากมีการศึกษาถึงสภาวะน่าสบายมีมากขึ้นในอนาคต ผสานรวมการออกแบบที่เข้าใจในเรื่องของวัสดุอาคารอื่นๆ เช่นผนัง หลังคา กระจก หรือแม้แต่พื้นเองก็ตาม จะสามารถช่วยให้การออกแบบนั้น เกิดเป็นองค์รวมรวมทั้งหมดของตัวบ้านซึ่งหมายรวมถึงสภาพแวดล้อมบริเวณบ้านด้วย การออกแบบที่ครอบคลุมทั้งหมดนี้จะสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นในตัวอาคารได้ ยกตัวอย่างเช่นตัวแปรสภาวะน่าสบายในเรื่องของ MRT ซึ่งต้องใช้ความรู้ความเข้าใจในการออกแบบทั้งผนัง หลังคา หรือเปลือกอาคารอื่นๆทั้งหมด เพื่อให้ค่า MRT หรืออุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบลดลง ซึ่งก็คือผนัง หลังคา สภาพแวดล้อมต่างๆทั้งหมด ไม่เพียงแต่กระจกเท่านั้น ดังนั้นหากมีผู้ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการลดอุณหภูมิผิวภายในของเปลือกอาคารแล้วผนวกรวมกับการเลือกใช้กระจกที่ถูกต้อง ภาระการทำความเย็นของตัวอาคารจะต้องลดลงได้อย่างแน่นอน

4.3 สรุปผลเพื่อสร้างแนวทางการออกแบบกระจกโดยวิเคราะห์จากภาระการทำความเย็น ร่วมกับการวิเคราะห์ถึงสภาวะน่าสบาย

จากผลสรุปการคำนวณภาระการทำความเย็นตามหัวข้อ 4.1 และการวิเคราะห์ตัวแปรที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบายตามหัวข้อ 4.2 ซึ่งเป็นแนวทางการเลือกใช้กระจกได้ดังนี้

1. เลือกกระจกที่มีค่า SC ต่ำ เป็นปัจจัยการเลือกแรก และควรมีค่าอย่างน้อยร้อยละ 60 ซึ่งอ้างอิงตามค่าคุณสมบัติของกระจก Solar control ที่เหมาะกับการใช้งานในเขตอากาศแบบร้อนชื้น
2. เลือกกระจกที่มีค่า U-value ต่ำด้วย เป็นปัจจัยการเลือกรองลงมาจกค่า SC และควรมีค่าอย่างน้อยต่ำกว่า $2.84 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ซึ่งเป็นค่า U-value ของกระจกฉนวนใสทั่วไป (สำหรับอาคารที่ต้องการอิทธิพลจากความเย็นของอากาศภายนอกตอนกลางคืน หรือเป็นอาคารที่มีการใช้งานพิเศษ ให้วิเคราะห์เลือกค่า U-value ที่สูงขึ้นได้)
3. เลือกกระจกที่มีค่า Ke สูงที่สุดที่สามารถทำให้ได้ค่า SC และ U-value ตามที่ออกแบบหรือมีค่ามากกว่า 100 ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ได้ปริมาณแสงต่อความร้อนเท่ากัน
4. วิเคราะห์ตัวแปรค่า Visible Light Transmission (VLT) ให้มีค่าที่เหมาะสมกับปริมาณช่องเปิดและปริมาณแสงภายนอกที่ต้องการใช้งาน กล่าวคือ หากอาคารมีการใช้งานที่

ต้องการช่องเปิดมาก ก็สามารถเลือกให้ค่า VLT ต่ำได้ หรือหากมีช่องเปิดน้อย ก็ควรเลือกกระจกที่มีค่า VLT สูง แต่จากการศึกษาไม่สามารถระบุได้ว่า VLT ที่เหมาะสมเป็นเท่าไรแน่ เนื่องจากมีตัวแปรเรื่องขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดเข้ามาเกี่ยวเนื่องกับปริมาณแสงที่ต้องการ ดังนั้นหากจะวิเคราะห์อย่างง่ายแล้วควรให้ค่า VLT มีค่าสูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เนื่องจากเราได้ควบคุมตัวแปรค่า SC U-value และ Ke ไว้แล้วทำให้กระจกที่เลือกมาจะเป็นกระจกที่มีคุณสมบัติส่วนใหญ่เหมาะสมแล้ว

แต่จากบทสรุปทั้ง 4 ตัวแปรข้างต้นนั้น ผู้เลือกใช้กระจกก็ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้อย่างชัดเจนมากนักและไม่สามารถนำไปใช้เลือกกระจกได้ เนื่องจากการออกแบบกระจกนั้นประเด็นที่สำคัญคือค่าภาระการทำความเย็นที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนของภาระการทำความเย็นหรือค่า RHG -Relative Heat Gain ที่ได้รับจากทางผู้ผลิตกระจกนั้น เดิมใช้วิธีการคำนวณตามสมการดังนี้

$$RHG = (630W/m^2 \times \text{Shading Coefficient}) + (8^\circ C \times U\text{-Value}_{\text{summer}})$$

(สมการ ข.1) [4]

ซึ่งการคำนวณค่า RHG ดังกล่าวนั้น ไม่ได้วิเคราะห์ถึงทิศของช่องเปิดอาคาร อุณหภูมิอากาศภายนอกที่เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน อุณหภูมิภายในที่บางครั้งสามารถปรับตั้งได้ตามลักษณะการใช้งานของผู้อยู่อาศัย ตำแหน่งแลตติจูดของที่ตั้งอาคาร ลักษณะทางกายภาพทั้งภายนอกและภายในอาคาร การบังเงาของกระจก แต่ตัวแปรต่างๆเหล่านี้ถูกวิเคราะห์อยู่ในการคำนวณตามคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. ซึ่งทำให้การคำนวณภาระการทำความเย็นนั้นมีค่าละเอียดมากขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำโปรแกรมสำหรับการคำนวณค่า RHG หรือภาระการทำความเย็นที่ระบุทิศของช่องเปิดในแต่ละทิศ ดังที่แสดงในภาพที่ 4.2 ซึ่งเมื่อทำการคำนวณภาระการทำความเย็นแล้วจะได้ภาระการทำความเย็นดังที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นภาระการทำความเย็นสำหรับกระจกใส 6 มม. และตารางที่ 4.2 ตัวอย่างภาระการทำความเย็นสำหรับกระจกฉนวนซึ่งโปรแกรมนี้สามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรในการคำนวณหาภาระการทำความเย็นได้หลายตัวแปรดังนี้

1 ออกแบบค่า U-value และ SC ได้อย่างอิสระ สามารถเลือกที่จะใส่ค่าได้ตามที่ต้องการ หรือสามารถนำค่า U-value ($W/m^2 \cdot K$) และ SC ที่ได้จากผู้ผลิตกระจกมาใส่ เพื่อคำนวณหาภาระการทำความเย็นอย่างละเอียดโดยระบุแยกเป็นแต่ละทิศได้ทั้งหมด 8 ทิศ

2 โปรแกรมยังสามารถเลือกวันและเดือนในการคำนวณภาระการทำความเย็นได้ซึ่งใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกจากกรมอุตุนิยมวิทยา [9] ปี 2556 วัดที่สถานีดอนเมือง หรือสามารถเลือกเป็นค่าเฉลี่ย (Avg.) หรือค่าสูงสุด (Max) ของแต่ละเดือนได้อีกด้วย

3 สามารถเลือกปรับอุณหภูมิภายในอาคารได้ ($^\circ C$) สำหรับบางกรณีที่ต้องการออกแบบอาคารให้เหมาะกับการใช้งาน หรือกิจกรรมของผู้ใช้งานอาคาร

4 สามารถระบุตารางเมตรของช่องเปิดที่เกิดการถ่ายเทความร้อนได้

5 สามารถระบุตำแหน่งแลตติจูดของที่ตั้งอาคารได้ (แต่เนื่องจากค่าอุณหภูมิภายนอกที่ใช้ในการคำนวณนั้น ถูกจำกัดอยู่ที่สถานีวัดที่ดอนเมือง ซึ่งอยู่ที่แลตติจูดประมาณ 14 องศาเหนือ และค่า

แลตติจูดที่มีข้อมูลให้ตามหนังสือคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. คือ 16 องศาเหนือ ดังนั้นหากต้องการแก้ไขที่แลตติจูด จึงควรแก้ไขข้อมูลอุณหภูมิอากาศด้วยเช่นกัน)

6 สามารถเลือกได้ว่ากระจกที่ออกแบบนั้นโดนแสงอาทิตย์ (Sunlight) หรืออยู่ในร่มเงา (Externally Shaded glass)

7 เลือกผลกระทบจากการตกแต่งภายในอาคารได้เช่น อุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร พรอม และวัสดุภายในอาคาร (มวลสารจากวัสดุตกแต่งภายในอาคาร)

Cooling load Design Guidelines Ver.5 Dec 2014 (Glass).xlsx

1 Glass name 6mm Clear Float glass
 2 Glass BOM FL6
 3 Product number
 4
 5 U-Value (ค่าแนะนำ 5.25 - 1.11 W/m2K) 5.25 W/m2K = 0.92 Btu/h*ft2*°F
 6 SC (ค่าแนะนำ 0.96 - 0.41) 0.96

7 Recommended available Glass specification

Product Name	Product No.	Color	Glass Type	OPTICAL PERFORMANCE						THERMAL PERFORMANCE						SC
				Visible Light (%)			Solar Energy (%)			UV (%)		RHG		U-value		
				T	out	R	T	R _{tot}	A	T	K=LI SC	W/m2	Btu/h-ft2	W/m2-K	Btu/h-ft2-°F	
FL6	5106063	Clear	Single	88	8	8	80	7	13	66	91.67	648.49	235.83	5.25	0.92	0.96
LAM-LITE 33.1	2102238	Clear	Laminated	89	8	8	75	7	15	<1	94.68	635.82	201.89	5.11	0.91	0.94
LAM-LITE 33.1(46)	2102317	Blue Green	Laminated	73	6	6	68	7	25	<1	82.80	593.73	186.86	5.15	0.91	0.87

Cooling load month Apr
 Cooling load Day Max. 25.00 °C = 77.00 °F
 Design Room Temp. 16 Degree North
 Design location latitude
 Sunlite (กระจกใส) or Externally shaded (ไม่ใส)
 Room with or without Interior Shading. 1st ---> Sunlite
 Construction Type with all construction
 Carpeted or Uncarpeted floor 2nd ---> all construction
 3rd ---> all construction

Product no.: 5106063
 FL6

Facing Direction	Calculated Heat Gain						Glass area m ²	W	Btu/h-ft2						Glass area ft ²	Btu/h
	Conduction		Solar Gain		Total (MAX)	Conduction			Solar Gain		Total (MAX)					
	Avg	Max	Avg	Max		Avg			Max	Avg		Max				
North	36.09	98.15	56.99	107.48	205.63	-	-	11.44	31.11	18.06	34.07	65.18	-	-		
North - East	36.09	98.15	111.34	395.87	494.03	-	-	11.44	31.11	35.29	125.49	156.61	-	-		
East	36.09	98.15	157.54	549.96	648.11	-	-	11.44	31.11	49.94	174.34	205.45	-	-		
South - East	36.09	98.15	117.92	367.95	466.10	-	-	11.44	31.11	37.38	116.64	147.75	-	-		
South	36.09	98.15	36.57	113.11	211.26	-	-	11.44	31.11	11.59	35.86	66.97	-	-		
South - West	36.09	98.15	117.25	377.04	475.19	-	-	11.44	31.11	37.20	119.52	150.63	-	-		
West	36.09	98.15	156.68	563.71	661.86	-	-	11.44	31.11	49.67	178.69	209.81	-	-		
North - West	36.09	98.15	111.77	427.13	525.28	-	-	11.44	31.11	35.43	135.40	166.51	-	-		
Summary						0.00	0.00						0.00	0.00		

Result ตารางเมตร(กระจก)ต่อลิ้น(แอม) ตารางฟุต(กระจก)ต่อลิ้น(แอม)

Normal RHG 646.80 205.03

*** Normal RHG = (630w/m² x Shading Coefficient) + (8°C x U-Value (summer) in W/m²K)

ภาพที่ 4.2 โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาภาระการทำความเย็น หรือค่า RHG ที่คำนวณตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. พัฒนาด้วยโปรแกรม Ms-Excel ver. 2010.

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างภาระการทำความเย็นสำหรับกระจกใส 6 มม. ที่คำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แลตติจูด 16 องศาเหนือ อุณหภูมิอากาศภายนอกได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาสถาบันีดอนเมือง [9] ปี 2556 กระจกโดนแดดและมีอุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร

Product no.: 5106063 FL6	W/m2						Calculated Heat Gain	
	Conduction		Solar Gain		Total (MAX)	Glass area m ²	W	
	Avg.	Max	Avg.	Max				
North	36.09	98.15	56.99	107.48	205.63		-	
North - East	36.09	98.15	111.34	395.87	494.03		-	
East	36.09	98.15	157.54	549.96	648.11		-	
South - East	36.09	98.15	117.92	367.95	466.10		-	
South	36.09	98.15	36.57	113.11	211.26		-	
South - West	36.09	98.15	117.35	377.04	475.19		-	
West	36.09	98.15	156.68	563.71	661.86		-	
North - West	36.09	98.15	111.77	427.13	525.28		-	
Summary							0.00	0.00
Result	ตารางเมตร(กระจก)ต่อตัน(แอร์)							

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างภาระการทำความเย็นสำหรับกระจกฉนวน ที่คำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แลตติจูด 16 องศาเหนือ อุณหภูมิอากาศภายนอกได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาสถาบันีดอนเมือง [9] ปี 2556 กระจกโดนแดดและมีอุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร

Product no.: 3103462 SPACE-LITE 6.38 SE-061/12AAS/33.1	W/m2						Calculated Heat Gain	
	Conduction		Solar Gain		Total (MAX)	Glass area m ²	W	
	Avg.	Max	Avg.	Max				
North	13.34	36.27	29.68	55.98	92.25		-	
North - East	13.34	36.27	57.99	206.18	242.46		-	
East	13.34	36.27	82.05	286.44	322.71		-	
South - East	13.34	36.27	61.42	191.64	227.92		-	
South	13.34	36.27	19.05	58.91	95.19		-	
South - West	13.34	36.27	61.12	196.37	232.65		-	
West	13.34	36.27	81.60	293.60	329.87		-	
North - West	13.34	36.27	58.22	222.46	258.74		-	
Summary							0.00	0.00
Result	ตารางเมตร(กระจก)ต่อตัน(แอร์)							

ซึ่งเครื่องมือหรือโปรแกรมสำหรับเลือกใช้กระจกให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นนั้น สามารถศึกษาวิธีการใช้งานได้ตามหัวข้อ 4.3.1 ดังต่อไปนี้

4.3.1 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือสำหรับการเลือกใช้กระจกที่จัดทำขึ้น

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้นทำการดาวน์โหลดโปรแกรมจาก

1.1 พิมพ์ URL ด้านล่างใน Web browser

http://upload.freeupload2u.com/download.php?file=536CoolingloadDesignGuidelinesVer.7Dec2014_Glass_rar#sthash.BRZOXvP7.dpuf

หรือใช้ QR CODE ดังนี้



ภาพที่ 4.3 แสดง Short URL และ QR code สำหรับการดาวน์โหลดโปรแกรมการคำนวณ

หรือพิมพ์ Short URL ดังนี้ <http://goo.gl/EPzCKB> (ตัวอักษรพิมพ์เล็กและพิมพ์ใหญ่มีผล)

1.2 เมื่อทำการเลือกที่อยู่ตาม URL ด้านบนแล้ว Web browser จะพาเข้าสู่หน้าเว็บเพจด้านล่าง

Freeupload2u บริการฝากไฟล์ ฝากรูป ไม่มีหมดอายุ - Freeupload2u

ยินดีต้อนรับ, คุณกำลัง ดาวน์โหลด ไฟล์ ชื่อ CoolingloadDesignGuidelinesVer.7Dec2014_Glass_rar

คุณสมบัติ	Premium	สมาชิกปกติ	Guest
ราคา	1 Month - \$2/mo (\$2)	ฟรี	ฟรี
ขนาดไฟล์สูงสุดที่รับได้	200 MB	51 MB	51 MB
ส่งตรงจากไปยังเซิร์ฟเวอร์	899 %	200 %	150 %
Download Timer	0 นาที	15 นาที	15 นาที
Download Limit after each download	0 นาที	1 นาที	2 นาที
รับโหลดผ่านทาง Flash	✓	✓	✓
รับโหลดผ่านทาง HTML	✓	✓	✓
ทดลองดู	ไม่หมดอายุ!	ไม่หมดอายุ!	ไม่หมดอายุ!
แผงจัดการไฟล์ ส่วน User Panel	✓	✓	✗
Downloads โหลดตรง	✓	✗	✗
สามารถใช้นิรนาม Download ได้	✓	✗	✗
No Ceptcha	✓	✗	✗
Email File Links	✓	✓	✓
	สมัครสมาชิก!!	สมัครสมาชิก!!	คลิกเพื่อโหลดไฟล์นี้ฟรี(สำหรับGuest)

อัปโหลดฟรี - ฝากไฟล์ฟรี - อัปโหลดไฟล์ - uploadfile - T.O.S
Copyright © 2011 - 2016 Freeupload2u บริการฝากไฟล์ อัปโหลดไฟล์. All Rights Reserved
Page Load: 1.5004 | Pages: 14/66/2/379

ภาพที่ 4.4 แสดงหน้าเว็บเพจสำหรับคลิกเพื่อเริ่มดาวน์โหลด

1.3 ให้คลิกในช่อง “คลิกเพื่อโหลดไฟล์นี้ฟรี(สำหรับGuest)” แล้วจะเข้าสู่เว็บเพจด้านล่าง

Freeupload2u บริการฝากไฟล์ ฝากรูป ไม่มีหมดอายุ - Freeupload2u

ทดลอง Google Partners
ช่วยเงินซื้อบทความสำหรับวันนี้ รวมเป็นเงินของ Google Partners

ดาวน์โหลดไฟล์จากเซิร์ฟเวอร์ของเรา

Report This File

File Type:	File Type
File Name:	CoolingloadDesignGuidelinesVer.7Dec2014_Glass_rar
File Bandwith Used:	0MB
ขนาดไฟล์:	3.46 MB
ผู้ Downloaded:	0 ครั้ง
Download ล่าสุด:	2014-12-11 17:00
File Description:	Cooling load Ver.7 Dec 2014 (Glass)b

568998 Securitycode:

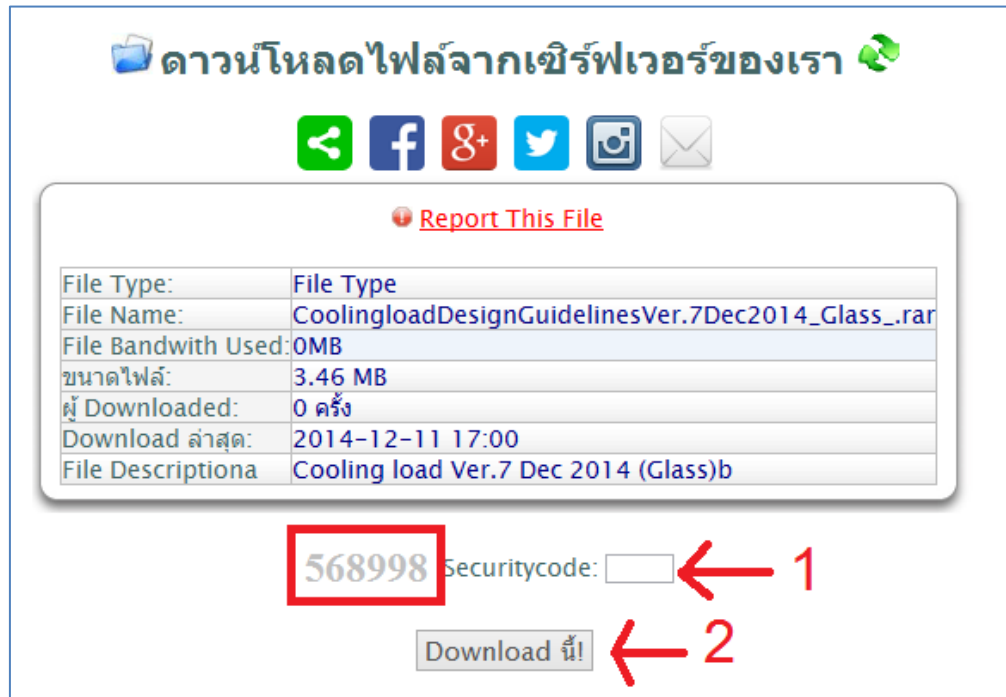
Download นี้!

BenQ Enjoy 100" Full HD movies anytime! Hover to Expand

อัปโหลดฟรี - ฝากไฟล์ฟรี - อัปโหลดไฟล์ - uploadfile - T.O.S

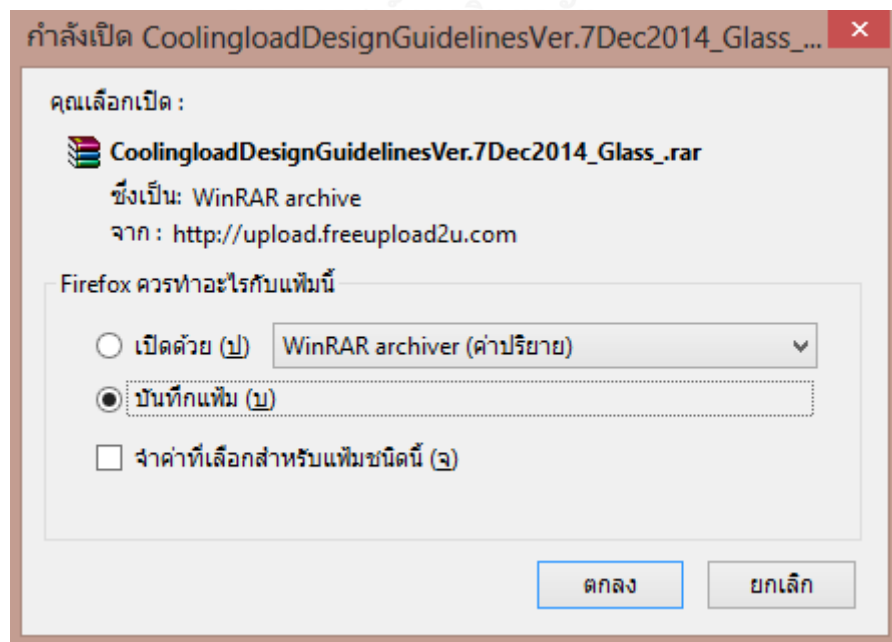
ภาพที่ 4.5 แสดงหน้าเว็บเพจสำหรับใส่รหัสความปลอดภัย

1.4 ทำการใส่รหัสในกรอบสีแดงที่ระบุไว้ด้านล่าง ในช่องว่างหมายเลข 1 ต่อจากนั้นคลิก “Download นี้!”



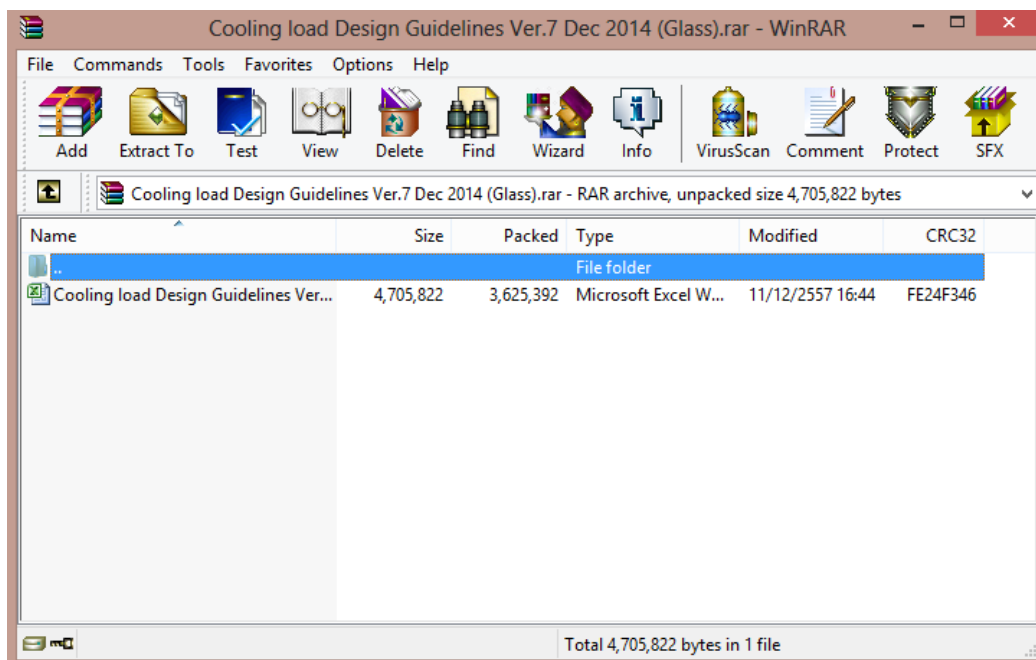
ภาพที่ 4.6 แสดงรหัสความปลอดภัยที่ต้องใส่ และปุ่มคลิกเพื่อดาวน์โหลด

1.5 หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างให้เลือกดาวน์โหลดหรือบันทึกไฟล์ตามรู้ด้านล่าง ให้เลือกบันทึกไฟล์ลงในเครื่อง หลังจากบันทึกแล้วจะได้ไฟล์นามสกุล .rar ให้เปิดไฟล์นี้



ภาพที่ 4.7 Pop-up เพื่อเลือกเปิดหรือบันทึกโปรแกรมลงในเครื่องคอมพิวเตอร์

1.6 เมื่อเปิดไฟล์ที่ใช้สำหรับการคำนวณที่ดาวน์โหลดมาผ่านโปรแกรมบีบอัดไฟล์ จะได้ตามภาพด้านล่าง หลังจากนั้นดับเบิลคลิกไฟล์ Ms.-Excel ที่อยู่แฟ้มบีบอัดดังกล่าว

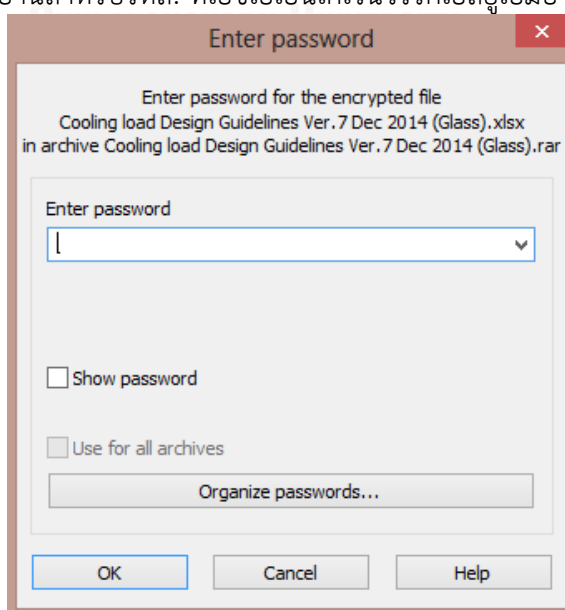


ภาพที่ 4.8 รูปแบบของโปรแกรมบีบอัดไฟล์ที่ต้องใช้ในการเปิดโปรแกรมที่ดาวน์โหลดมาแล้ว

1.7 เมื่อดับเบิลคลิกไฟล์ดังกล่าวจะปรากฏหน้าต่างให้ใส่รหัสตั้งภาพด้านล่าง ให้พิมพ์รหัสด้านล่างต่อไปนี้ก็จะสามารถเปิดโปรแกรมที่จัดทำได้

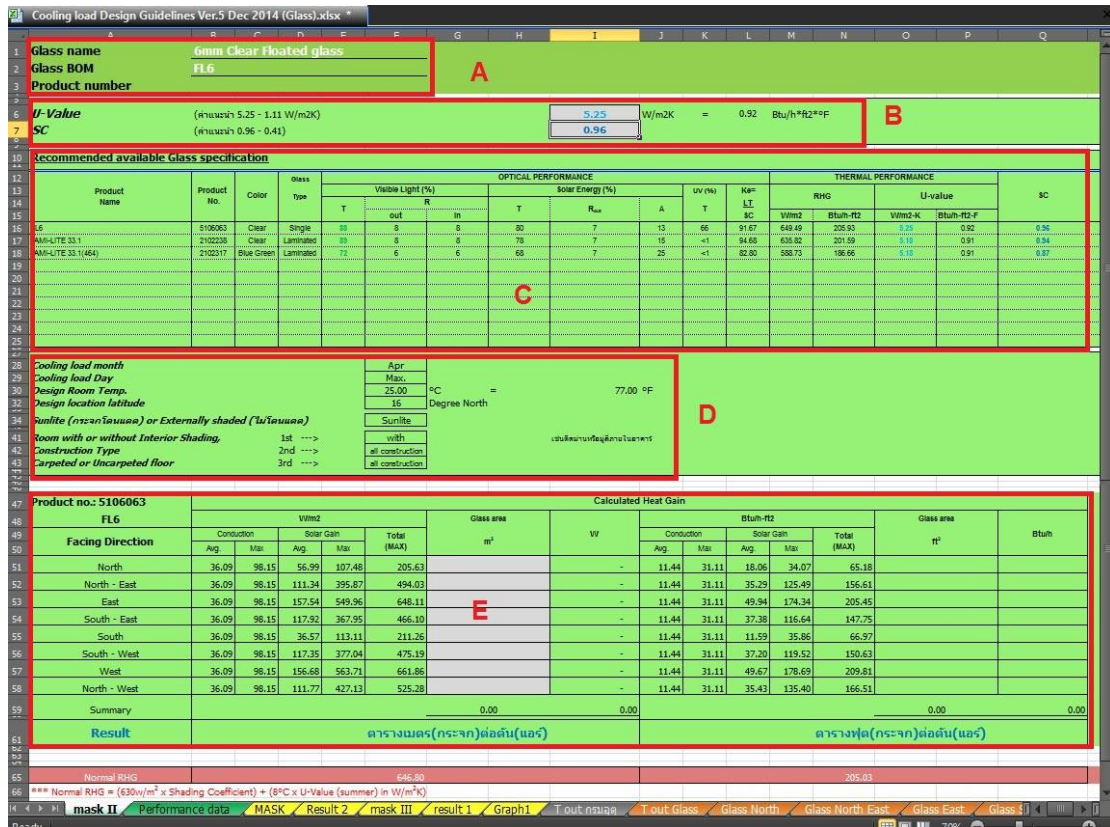
thank sumrit

(คำอ่านสำหรับรหัส: ทีเอชเอเอ็นเคเว็นวรรคเอสยูเอ็มเอไอที)



ภาพที่ 4.9 แสดงช่องสำหรับใส่รหัสสำหรับการยกเลิกการบีบอัด

2. เปิดไฟล์ที่ได้ดาวน์โหลดมาด้วยโปรแกรม Ms-Excel แนะนำให้ใช้เวอร์ 2010 ขึ้นไป จะพบหน้าต่างเริ่มต้นใช้งานอยู่ที่แผ่นงานชื่อ Mask II ดังภาพที่ 4.2 ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นส่วนๆ ตามเครื่องหมาย PART A ถึง E ตามภาพที่ 4.3 ดังนี้



ภาพที่ 4.10 โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาภาระการทำความเย็น หรือค่า RHG ที่คำนวณตามคู่มือ ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals. พัฒนาด้วยโปรแกรม Ms.-Excel ver. 2010 แบ่งเป็น PART A ถึง E

1. PART A

Product name	
Glass BOM	
Product number	

ภาพที่ 4.11 แสดงส่วนประกอบ Part A ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น

Part A เป็นส่วนของการใส่ชื่อ ข้อมูลส่วนประกอบ และหมายเลขสินค้าของกระจก ใช้สำหรับอ้างอิง สามารถพิมพ์ลงไปในช่องได้โดยตรง ข้อมูลในส่วนนี้เพียงแค่ว่าช่วยจำในกรณีที่เราจำราคา คุณสมบัติของกระจกมาจากผู้ผลิตและจะทำการคำนวณภาระการทำความเย็นของกระจกชนิดนี้

2. PART B

U-Value SC	(ค่าแนะนำ 5.25 - 1.11 W/m ² K)	1.91	W/m ² K	=	0.34	Btu/h*ft ² *°F
	(ค่าแนะนำ 0.96 - 0.41)	0.50				

ภาพที่ 4.12 แสดงส่วนประกอบ Part ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น

Part B เป็นส่วนสำคัญในการเลือกใช้กระจก โดยวิเคราะห์ถึงค่าตัวแปร SC และ U-value ในกรณีที่ทราบค่า SC และ U-value (หน่วย W/m²*K) จากผู้ผลิต สามารถนำค่าที่ได้มาพิมพ์ค่าใส่ในช่องสีเทา โดยช่องด้านบนเป็นค่า U-value ซึ่งมีค่าแนะนำเบื้องต้นอยู่ทางด้านซ้ายมือ และในส่วนช่องด้านล่างให้พิมพ์ค่า SC

ในกรณีที่ไมทราบค่า SC และ U-value นั้น ให้ทดลองใส่ค่าที่ต้องการลงในช่องสีเทาทั้งสองช่องให้อยู่ในช่วงของค่าที่แนะนำไว้ซ้ายมือ ก็จะปรากฏกระจกที่มีค่า SC และ U-value ใกล้เคียงกับค่าที่เราได้ใส่ไว้ในช่องสีเทาทั้ง 2 ช่อง โดยคุณสมบัติของกระจกที่แสดงขึ้นมา นั้น สามารถใส่เพิ่มเติมได้ลงในฐานข้อมูลแผ่นงานชื่อ “Performance data” ดังภาพที่ 4.4 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเหล่านี้สามารถขอได้จากผู้ผลิตกระจก หรือสามารถหาได้จากเว็บไซต์ของผู้ผลิตกระจกเช่นเดียวกัน

สำหรับเครื่องมือที่สร้างนี้ ได้ใส่ค่าคุณสมบัติของกระจกไว้แล้วบางส่วน แต่สามารถใส่เพิ่มเติมรวมทั้งสิ้นถึง 1000 รายการ

ในกรณีที่ใส่ค่าลงในช่อง SC และ U-value แล้วไม่ปรากฏชนิดกระจกที่แนะนำขึ้นมาใน PART C นั้นมีสาเหตุจากไม่มีกระจกในฐานข้อมูลที่เหมาะสมกับค่า SC และ U-value ที่ใส่ใน PART B แนะนำให้ทำการแก้ไขโดยทดลองใส่ค่าทั้งสองใหม่หรือเพิ่มข้อมูลในฐานข้อมูลให้มากขึ้น หรือถ้าหากต้องการค่า SC และ U-value ตามที่เลือกใส่จริงๆ แนะนำให้ติดต่อผู้ผลิตกระจกเพื่อหาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับค่าที่เลือกอีกครั้ง

3. PART C

Recommended available Glass specification																	
Product Name	Product No.	Color	Glass Type	OPTICAL PERFORMANCE						THERMAL PERFORMANCE				SC	STC		
				Visible Light (%)			Solar Energy (%)			UV (%)	Kev LI SC	RHG				U-value	
				T	R		T	R _{tot}	A			W/m2	Btu/h-ft2			W/m2-K	Btu/h-ft2-F
6.38 SE-061	2303166	Light Grey	Laminated	59	7	9	42	7	51	<1	88.33	397.69	126.09	1.91	0.49	0.68	33
SPACE-LITE 33SE.1/12AAS16	3103286	Light Grey	Insulated	53	10	15	35	9	56	<1	106.00	333.43	105.72	1.91	0.34	0.50	39
FLC SE	5106085	Light Grey	Single	60	8	9	44	7	49	44	98.40	406.20	128.79	2.21	0.50	0.61	31
SPACE-LITE 6SE/12AAS18	3103286	Light Grey	Insulated	53	10	15	36	9	55	34	101.90	342.18	108.49	1.91	0.34	0.52	35
SPACE-LITE 6.38 SE-061/12AAS33.1	3103462	Light Grey	Insulated	53	10	15	35	9	55	<1	105	332.47	105.41	1.91	0.34	0.52	41

ภาพที่ 4.13 แสดงส่วนประกอบ Part C ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น

Part C เป็นส่วนที่จะแสดงค่าคุณสมบัติของกระจกที่แนะนำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า SC และ U-value ที่ใส่ค่าไว้ใน PART B โดยอ้างอิงจากฐานข้อมูลกระจกที่ใส่ไว้ในแผนงาน Performance data ซึ่งสามารถใส่ค่าเพิ่มเติมได้ ตามภาพที่ 4.4

Cooling load Design Guidelines Ver.6 Dec 2014 (Glass).xlsx																	
Performance Data																	
Product No.	Product Name	Color	Glass Thickness	OPTICAL PERFORMANCE						THERMAL PERFORMANCE							
				Visible Light (%)		Solar Energy (%)		UV (%)		K _{es}		U-value		SC	STC		
T	R	T	R _{sol}	A	T	LT	RHG	W/m ²	U _g	W/m ² K	U _g	U _g					
5100083	FL6	Clear	6.00	88	9	8	80	7	13	66	91.7	649.49	205.93	5.25	0.92	0.90	31
5100086	FL6 OGN	Green	6.00	77	7	7	47	5	48	30	108.5	488.16	154.77	5.25	0.92	0.71	31
2102267	LAMI-LITE 33.1(582)	Grey	6.38	43	5	5	51	6	43	<1	58.1	506.42	160.56	5.18	0.91	0.74	33
2102238	LAMI-LITE 33.1	Clear	6.38	89	8	8	78	7	15	<1	94.7	635.82	201.59	5.18	0.91	0.94	33
2302185	6.38 E-061	Clear	6.38	83	10	11	88	10	22	<1	100.0	542.52	172.01	2.80	0.49	0.83	33
2303166	6.38 SE-061	Light Grey	6.38	59	7	9	42	7	51	<1	98.3	397.69	126.09	2.81	0.49	0.60	33
3103287	SPACE-LITE 33EACL 1/12AAS/6	Clear	24.38	74	16	16	55	13	32	<1	101.4	477.95	151.54	1.91	0.34	0.73	39
5100082	FL6 RSCAZ	Blue Green	6.00	26	19	36	14	10	76	12	59.1	315.83	100.14	5.28	0.93	0.44	31
3103286	SPACE-LITE 33SE 1/12AAS/6	Light Grey	24.38	53	10	15	35	9	56	<1	106.0	333.43	105.72	1.91	0.34	0.50	39
check	SPACE-LITE 33SE 1/12AAS/3EACL3.1	Light Grey	24.76	49	11	16	32	9	59	<1	102.1	318.21	100.89	1.74	0.31	0.48	41
check	SPACE-LITE 33SE 1/12AAS/3EACL3.1/12AAS/3EACL3.1	Light Grey	43.14	42	14	22	25	11	64	<1	102.4	264.24	83.78	1.11	0.20	0.41	49
5100071	FL6 EGN	Green	6.00	76	7	7	44	6	50	28	110.1	474.60	150.44	5.25	0.92	0.69	31
5100073	FL6 EGY	Grey	6.00	45	5	5	44	5	51	25	66.2	472.72	149.88	5.25	0.92	0.68	31
2102317	LAMI-LITE 33.1(484)	Blue Green	6.38	72	6	6	66	7	25	<1	82.6	588.73	186.06	5.18	0.91	0.87	33
5100059	FL6 REAVGN	Green	6.00	45	16	27	23	8	69	7	111.6	292.22	92.86	3.01	0.53	0.43	31
5100129	FL6 REACL	Clear	6.00	66	25	28	58	19	23	30	91.7	476.19	150.98	3.01	0.53	0.72	31
5100075	FL6 EACL	Clear	6.00	82	10	11	66	10	24	49	101.2	532.20	168.74	2.79	0.49	0.81	31
5100065	FL6 SE	Light Grey	6.00	60	8	9	44	7	49	44	98.4	406.20	128.79	2.83	0.50	0.61	31
3103220	SPACE-LITE 6/12AAS/6	Clear	24.00	78	14	14	65	12	23	51	92.9	553.83	176.60	2.84	0.50	0.84	35
3103216	SPACE-LITE 6EACL/12AAS/6	Clear	24.00	73	15	16	54	13	33	38	101.4	468.43	148.52	1.91	0.34	0.72	35
3103286	SPACE-LITE 6SE/12AAS/6	Light Grey	24.00	53	10	15	36	9	65	34	101.9	342.18	108.49	1.92	0.34	0.52	35
3103461	SPACE-LITE 6.38 E-061/12AAS/33.1	Clear	24.76	74	15	16	55	13	32	<1	101.4	474.13	150.33	1.90	0.33	0.73	41
3103462	SPACE-LITE 6.38 SE-061/12AAS/33.1	Light Grey	24.76	53	10	15	35	9	56	<1	106.0	332.47	105.41	1.91	0.34	0.50	41

ภาพที่ 4.4 แสดงตารางฐานข้อมูลชนิดกระจกต่างๆที่มีไว้สำหรับเป็นข้อมูลในการแนะนำกระจกที่เหมาะสมกับค่า SC และ U-value ที่ใส่ค่าเข้าไปในส่วน B ของเครื่องมือที่สร้างขึ้น

ในส่วนของ PART C ได้รวมเอาแนวทางการเลือกใช้กระจกที่สรุปไว้ตามหัวข้อ 4.3 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ตามลำดับดังนี้

1. เลือกกระจกที่มีค่า SC ต่ำ เป็นปัจจัยการเลือกแรก และควรมีค่าอย่างน้อยร้อยละ 60 ซึ่งอ้างอิงตามค่าคุณสมบัติของกระจก Solar control ที่เหมาะกับการใช้งานในเขตอากาศแบบร้อนชื้น

สามารถดูค่า SC ที่โปรแกรมแนะนำได้จาก PART C คอลัมน์ที่ 17

โปรแกรมจะแสดงเฉพาะกระจกที่มีคุณสมบัติเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่า SC ที่ใส่ใน PART B หากค่า SC สูงกว่า ร้อยละ 60 โปรแกรมจะแสดงค่า SC ของกระจกที่แนะนำด้วยตัวหนังสือสีแดง เพื่อเป็นการแจ้งเตือนผู้เลือกใช้ว่ากระจกชนิดนี้ไม่ควรเลือก ให้เลือกกระจกชนิดอื่นหรือวิเคราะห์เลือกค่า SC ใหม่

2. เลือกกระจกที่มีค่า U-value ต่ำด้วย เป็นปัจจัยการเลือกรองลงมาจกค่า SC และควรมีค่าอย่างน้อยต่ำกว่า $2.84 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ซึ่งเป็นค่า U-value ของกระจกฉนวนใสทั่วไป (สำหรับอาคารที่ต้องการอิทธิพลจากความเย็นของอากาศภายนอกตอนกลางคืน หรือเป็นอาคารที่มีการใช้งานพิเศษ ให้วิเคราะห์เลือกค่า U-value ที่สูงขึ้นได้)

สามารถดูค่า U-value ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$) ที่โปรแกรมแนะนำได้จาก PART C คอลัมน์ที่ 15

โปรแกรมจะแสดงเฉพาะกระจกที่มีคุณสมบัติเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่า U-value ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$) ที่ใส่ใน PART B หากค่า U-value สูงกว่า $2.84 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ โปรแกรมจะแสดงค่า U-value ของกระจกที่แนะนำด้วยตัวหนังสือสีแดง เพื่อเป็นการแจ้งเตือนผู้เลือกใช้ว่ากระจกชนิดนี้ ไม่ควรเลือก ให้เลือกกระจกชนิดอื่นหรือวิเคราะห์เลือกค่า U-value ใหม่

3. เลือกกระจกที่มีค่า Ke สูงที่สุดที่สามารถหาค่า SC และ U-value ตามที่ออกแบบ หรือมีค่ามากกว่า 100 ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ได้ปริมาณแสงต่อความร้อนเท่ากัน

สามารถดูค่า Ke ที่โปรแกรมแนะนำได้จาก PART C คอลัมน์ที่ 12

หากค่า Ke สูงกว่า 100 โปรแกรมจะแสดงค่า Ke ของกระจกที่แนะนำด้วยตัวหนังสือสีเขียว เพื่อเป็นการแจ้งผู้เลือกใช้ว่ากระจกชนิดนี้เป็นกระจกที่มีคุณสมบัติที่ ดีควรเลือกใช้

4. วิเคราะห์ตัวแปรค่า Visible Light Transmission (VLT) ให้มีค่าที่เหมาะสมกับปริมาณช่องเปิดและปริมาณแสงภายนอกที่ต้องการใช้งาน กล่าวคือ หากอาคารมีการใช้งานที่ต้องการช่องเปิดมาก ก็สามารถเลือกให้ค่า VLT ต่ำได้ หรือหากมีช่องเปิดน้อย ก็ควรเลือกกระจกที่มีค่า VLT สูง แต่จากการศึกษาไม่สามารถระบุได้ว่า VLT ที่เหมาะสมเป็นเท่าไรแน่ เนื่องจากมีตัวแปรเรื่องขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดเข้ามาเกี่ยวเนื่องกับปริมาณแสงที่ต้องการ ดังนั้นหากจะวิเคราะห์อย่างง่ายแล้วควรให้ค่า VLT มีค่าสูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เนื่องจากเราได้ควบคุมตัวแปรค่า SC U-value และ Ke ไว้แล้วทำให้กระจกที่เลือกมาจะเป็นกระจกที่มีคุณสมบัติส่วนใหญ่เหมาะสมแล้ว

สามารถดูค่า VLT ที่โปรแกรมแนะนำได้จาก PART C คอลัมน์ที่ 5

หากค่า VLT สูงกว่าร้อยละ 60 โปรแกรมจะแสดงค่า VLT ของกระจกที่แนะนำด้วยตัวหนังสือสีเขียว เพื่อเป็นการแจ้งผู้เลือกใช้ว่ากระจกชนิดนี้เป็นกระจกที่มีคุณสมบัติที่ ดีควรเลือกใช้ ซึ่งอ้างอิงค่าโดยประมาณของกระจก 6mm Solar control ที่มีค่าร้อยละ 60 ซึ่งยิ่งมากก็ยิ่งดี หรือหากค่า VLT ต่ำกว่า 46 โปรแกรมจะแสดงค่า VLT ของกระจกที่แนะนำด้วยตัวหนังสือสีแดง เพื่อเป็นการแจ้งผู้เลือกใช้ว่ากระจกชนิดนี้เป็นกระจกที่มีคุณสมบัติที่ ไม่ควรเลือกใช้ ซึ่งอ้างอิงค่าโดยประมาณของกระจก 6mm สีชาที่มีค่าร้อยละ 45 ซึ่งถือว่าน้อยมากแล้ว แต่สุดท้ายแล้วการวิเคราะห์ค่า VLT นั้นควรวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยของขนาดช่องเปิดด้วย

เพิ่มเติมในส่วนของหัวข้อ 3.2 ที่ได้วิเคราะห์แล้วว่าอุณหภูมิผิวกระจกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า MRT โดยรวม ดังนั้นเราควรเลือกใช้กระจกฉนวนเพื่อลดอิทธิพลของ MRT ให้น้อยลงซึ่งอุณหภูมิผิวของกระจกนั้นขึ้นอยู่กับค่า Absorption ของกระจก

สามารถดูค่า Absorption ที่โปรแกรมแนะนำได้จาก PART C คอลัมน์ที่ 10

หากค่า Absorption สูงกว่าร้อยละ 60 โปรแกรมจะแสดงค่า Absorption ของกระจกที่แนะนำด้วยตัวหนังสือสีแดง เพื่อเป็นการแจ้งเตือนผู้เลือกใช้ว่ากระจกชนิดนี้เป็นกระจกที่มีคุณสมบัติที่มีอุณหภูมิผิวกระจกสูง เนื่องจากกระจกสามารถดูดซับความร้อนได้มาก

แต่ในกรณีของกระจกฉนวนที่คำนวณค่าคุณสมบัติจากโปรแกรมนั้น จะระบุค่า Absorption รวมของกระจกทั้งแผ่นนอกและแผ่นใน ทำให้ค่าในตารางคุณสมบัติมีค่า Absorption ที่สูงแต่ในการใช้งานจริงนั้นกระจกฉนวนที่ดีจะมีอุณหภูมิผิวของกระจกแผ่นในเย็น ดังนั้นหากกระจกที่แนะนำตาม PART C จากโปรแกรมนั้นเป็นกระจกฉนวนแล้ว โปรแกรมจะแจ้งเตือนที่คอลัมน์ที่ 4 ด้วยพื้นตัวหนังสือสีเขียว เพื่อแจ้งให้ผู้เลือกใช้ใช้งานทราบว่า เป็นกระจกที่ควรเลือกใช้

4. PART D

Cooling load month		Apr		
Cooling load Day		Max.		
Design Room Temp.		25.00	°C	= 77.00 °F
Design location latitude		16	Degree North	
Sunlite (กระจกโดนแดด) or Externally shaded (ไม่โดนแดด)		Sunlite		
Room with or without Interior Shading,	1st -->	with		เช่นติดบานหรือมู่ลี่ภายในอาคาร
Construction Type	2nd -->	all construction		
Carpeted or Uncarpeted floor	3rd -->	all construction		

ภาพที่ 4.14 แสดงส่วนประกอบ Part D ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น

Part D เป็นส่วนของการออกแบบตัวแปรแวดล้อมของการคำนวณ ซึ่งจะมีค่าเริ่มต้นใส่ไว้ให้ด้วย ผู้เลือกกระจกควรที่จะปรับให้ตรงตามสภาพจริงที่เกิดขึ้นกับกระจก เพื่อให้ได้ค่าที่ภาระการทำความเย็นที่ใกล้เคียง และกระจกที่แนะนำให้เหมาะสมกับการใช้งาน

- Cooling load Month คือเดือนที่ต้องการคำนวณหาภาระการทำความเย็น โดยมีค่าเริ่มต้นเป็นเดือนเมษายน ซึ่งเป็นเดือนที่เกิดภาระการทำความเย็นสูงสุดของประเทศไทย ผู้เลือกใช้งานกระจกสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้โดยการคลิกเลือกไปที่ช่อง “Apr” จะปรากฏลูกศรรายการเดือนต่างๆขึ้นมาให้เลือกโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องทำการพิมพ์ค่าใดๆลงไป หรือกรณีที่ต้องการค่าสูงสุดของปีโดยที่ไม่ทราบว่าเกิดขึ้นในเดือนไหนนั้นก็ สามารถเลือกให้เป็น MAX ได้ โปรแกรมก็จะทำการคำนวณหาว่าเดือนใดมีภาระการทำความเย็นสูงสุดให้อัตโนมัติ (ให้ทำการเลือก Cooling load Day เป็น MAX ด้วยเช่นกัน)
- Cooling load Day คือวันที่ต้องการเลือกในการคำนวณหาภาระการทำความเย็น ซึ่งต้องทำการเลือกเดือนที่ต้องการคำนวณก่อน แล้วจำนวนวันที่ให้เลือกจะตรงกับเดือนดังกล่าว หรือกรณีที่ต้องการค่าสูงสุดของปีโดยที่ไม่ทราบว่าเกิดขึ้นในวันไหนนั้นก็

สามารถเลือกให้เป็น MAX ได้ โปรแกรมก็จะทำการคำนวณหาว่าวันใดในเดือนที่เลือกมี
ภาระการทำความเย็นสูงสุดให้อัตโนมัติ อีกทั้งยังสามารถเลือกค่าเฉลี่ยของเดือนนั้นได้
โดยเลือก Avg. โปรแกรมจะใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยในเดือนนั้นๆ เพื่อทำ
การคำนวณหาภาระการทำความเย็น (ใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกจากกรม
อุตุนิยมวิทยา สถานี ดอนเมือง [9])

- Design Room Temp คือค่าการออกแบบอุณหภูมิภายในอาคาร โดยค่าเริ่มต้นกำหนดไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากอ้างอิงจากขอบเขตสบายของมนุษย์ ถ้ามีการออกแบบอุณหภูมิอากาศภายในห้องพิเศษแตกต่างออกไป ก็สามารถปรับค่าได้ด้วยการพิมพ์ค่า องศาเซลเซียสที่ต้องการลงไปในช่วง “25.00”
- Design Location Latitude คือตำแหน่งที่ตั้งของอาคารหรือกระจกที่เราติดตั้ง โดยค่าเริ่มต้นกำหนดไว้ที่ 16 องศาเหนือ เนื่องจากข้อมูลที่มีจากคู่มือ ASHREA Fundamental Handbook 1989 นั้น มีค่าที่ 16 องศาเหนือซึ่งใกล้เคียงกับข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกที่ได้มาจากรมอุตุนิยมวิทยา สถานีดอนเมือง [9] หากผู้เลือกใช้กระจกต้องการปรับเปลี่ยนค่าในส่วนนี้สามารถทำได้โดยการคลิกไปที่ช่อง “16” จะปรากฏรายการตำแหน่งแลตติจูดให้เลือก อ้างอิงตามข้อมูลที่มีจากหนังสือ ASHREA Fundamental Handbook 1989. แต่เนื่องด้วยตำแหน่งแลตติจูดนั้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายนอก ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนฐานข้อมูลโปรแกรม ในแผ่นงานชื่อ “T out glass” ด้วย
- Sunlite (กระจกโดนแดด) or Externally shaded (ไม่โดนแดด) คือการระบุว่ากระจกที่ออกแบบนั้นเมื่อติดตั้งแล้วกระจกจะโดนแดดหรือไม่โดนแดด ถ้าหากกระจกติดตั้งแล้วโดนแดด ค่าเริ่มต้นจะใส่ไว้ให้อยู่แล้วไม่ต้องปรับเปลี่ยนใดๆ แต่ถ้าหากกระจกติดตั้งแล้วไม่โดนแดด ให้เปลี่ยนค่าโดยการคลิกที่ “Sunlite” จะปรากฏลูกศรรายการให้เลือก เปลี่ยนเป็น Externally ได้
- ในส่วนที่เหลืออีก 3 รายการได้แก่ Room with or without Interior Shading, Construction Type และ Carpeted or Uncarpeted floor จะพบว่ามีการอธิบายกำกับให้เลือกเรียงตามลำดับอยู่ทางซ้ายมือ ซึ่งต้องเลือกตามลำดับคือ

ลำดับที่ 1 Room with or without Interior Shading

เลือกโดยการคลิกที่ช่อง “With” จะปรากฏลูกศรรายการให้เลือก ว่าห้องที่ออกแบบและติดตั้งกระจกนั้นมีการใช้อุปกรณ์บังเงาใดๆ ภายในอาคารหรือไม่ เช่นม่านหรือมู่ลี่ ถ้าหากมีการใช้ให้เลือก With แต่ถ้าหากไม่มีการใช้อุปกรณ์บังเงาให้เลือก Without

ลำดับที่ 2 Construction Type

ในกรณีที่เลือกลำดับแรกเป็น With รายการที่มีให้เลือกในลำดับที่ 2 นี้จะมีเพียง All construction type ให้ทำการเลือกข้อมูลดังกล่าว

ในกรณีที่เลือกลำดับแรกเป็น Without รายการที่มีให้เลือกในลำดับที่ 2 นี้จะมีรายการให้เลือก 3 ค่าคือ L M H หมายถึงรูปแบบการก่อสร้างของตัวอาคารเป็นแบบไหน

- Light weight construction คือการก่อสร้างด้วยวัสดุน้ำหนักเบา เช่นพื้นไม้ ผนังเบา
- Medium weight construction คือการก่อสร้างด้วยวัสดุน้ำหนักปานกลาง เช่นพื้นคอนกรีต ผนังเบาถึงปานกลาง
- Heavy weight construction คือการก่อสร้างด้วยวัสดุหนักมาก เช่นพื้นคอนกรีต ผนังคอนกรีต

ลำดับที่ 3 Carpeted or Uncarpeted floor

ในกรณีที่เลือกลำดับแรกเป็น With รายการที่มีให้เลือกในลำดับที่ 3 นี้จะมีเพียง All construction type ให้ทำการเลือกข้อมูลดังกล่าว

ในกรณีที่เลือกลำดับแรกเป็น Without รายการที่มีให้เลือกในลำดับที่ 3 นี้จะมีรายการให้เลือก 3 ค่าคือ

- ทั่วไป (General)
- มีการปูพรม (Carpeted floor)
- ไม่มีการปูพรม (Uncarpeted floor)

5. PART E

Product no.: 0	W/m2					Calculated Heat Gain		
	Conduction		Solar Gain		Total (MAX)	Glass area m ²	W	
	Avg.	Max	Avg.	Max				
North	36.09	98.15	29.68	55.98	154.13		-	
North - East	36.09	98.15	57.99	206.18	304.34		-	
East	36.09	98.15	82.05	286.44	384.59		-	
South - East	36.09	98.15	61.42	191.64	289.79		-	
South	36.09	98.15	19.05	58.91	157.07		-	
South - West	36.09	98.15	61.12	196.37	294.53		-	
West	36.09	98.15	81.60	293.60	391.75		-	
North - West	36.09	98.15	58.22	222.46	320.61		-	
Summary						0.00		0.00
Result	ตารางเมตร(กระจก)ต่อตัน(แอมป์)							

ภาพที่ 4.15 แสดงส่วนประกอบ Part E ของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น

และ PART E นี้เป็นผลคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกระจกที่ได้รับมูลค่า SC และ U-value ไว้ตาม PART B ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณแยกให้แต่ละทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งสามารถดูค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดรวมจากคอลัมน์ที่ 6

อีกทั้งโปรแกรมยังสามารถระบุจำนวนพื้นที่ตารางเมตรรวมของกระจกในช่องสี่เท่าได้โดยการพิมพ์ค่าตารางเมตรลงไปตามทิศที่ต้องการ สาเหตุที่ให้ระบุเป็นหน่วยตารางเมตรเนื่องจากการวัดขนาดหรือสั่งซื้อกระจกนั้น ทางผู้ผลิตจะผลิตด้วยเครื่องจักรที่ต้องระบุขนาดด้วยหน่วยเมตรหรือมิลลิเมตร เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในเรื่องของขนาดที่น้อยที่สุด ดังนั้นการระบุขนาดของพื้นที่เป็นตารางเมตรน่าจะง่ายและเหมาะสมกว่าการระบุเป็นหน่วยตารางฟุต แต่เพื่อความสะดวกกับผู้ใช้งาน โปรแกรมก็ได้ทำการแปลงหน่วยให้ด้วยในตารางที่ติดกันทางด้านซ้ายมือดังนี้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการเปลี่ยนหน่วยพื้นที่กระจกของอาคาร จากตารางเมตรเป็นตารางฟุต

Btu/h-ft2					Glass area ft ²	Btu/h
Conduction		Solar Gain		Total (MAX)		
Avg.	Max	Avg.	Max			
11.44	31.11	18.06	34.07	65.18		
11.44	31.11	35.29	125.49	156.61		
11.44	31.11	49.94	174.34	205.45		
11.44	31.11	37.38	116.64	147.75		
11.44	31.11	11.59	35.86	66.97		
11.44	31.11	37.20	119.52	150.63		
11.44	31.11	49.67	178.69	209.81		
11.44	31.11	35.43	135.40	166.51		
					0.00	0.00
ตารางฟุต(กระจก)ต่อตัน(แอร์)						

เมื่อใส่ค่าตารางเมตรแล้ว ค่าตารางฟุตจะถูกแปลงค่าและใส่ให้ทันที หลังจากนั้นโปรแกรมจะคำนวณให้ว่าพื้นที่กระจกทั้งหมดต่อภาระการทำความเย็นเป็นกี่ ตารางเมตร(พื้นที่กระจก)ต่อตัน(แอร์) และตารางฟุต(พื้นที่กระจก)ต่อตัน(แอร์) ด้วยเช่นกัน

ดังนั้นการใช้โปรแกรมที่จัดทำขึ้นตามหัวข้อ 4.3 ดังกล่าว สามารถช่วยให้ผู้เลือกใช้งานกระจกสามารถทราบถึงภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดทุกทิศ รวมถึงมีข้อเสนอแนะค่าคุณสมบัติต่างๆที่เหมาะสมในการเลือกใช้งาน สามารถปรับแต่ง ออกแบบตัวแปรที่มีส่วนที่ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นต่างๆ ได้มากขึ้นกว่าการคำนวณในแบบเก่า จึงเป็นประโยชน์กับการวิเคราะห์การสิ้นเปลืองพลังงานที่ต้องใช้ในการปรับอากาศ

บทที่ 5 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

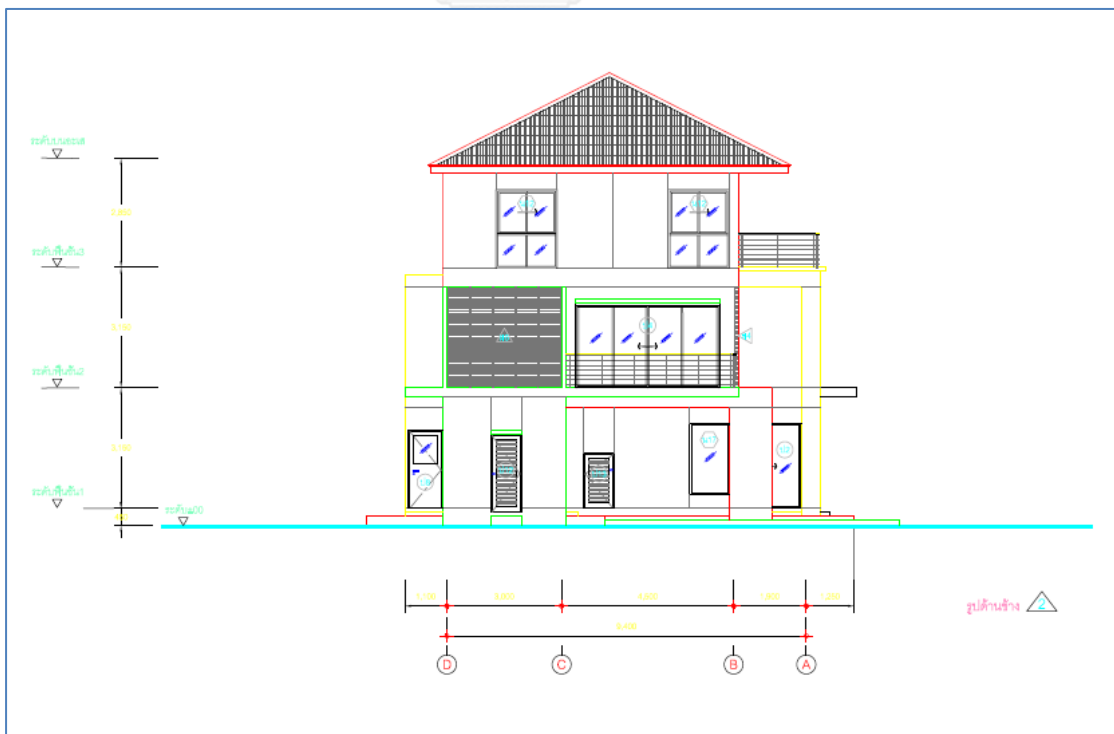
จากการศึกษาวิธีการคำนวณที่กล่าวมาทั้งหมดแล้วนั้น สามารถนำมาคำนวณหาภาระการทำความเย็นของอาคารโดยจัดทำเป็นรูปแบบของ Ms.-Excel โปรแกรม ใช้เป็นเครื่องมือช่วยหาค่าจากตารางต่างๆ ได้ง่ายขึ้นและคำนวณสมการในแต่ละช่วงเวลาได้รวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถแก้ไขตัวแปรที่ออกแบบได้ง่าย เพื่อช่วยในการคิดวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการออกแบบกระจก ซึ่งสามารถมองเห็นพฤติกรรมของภาระการทำความเย็นโดยรวมในรูปแบบของแผนภูมิได้อีกด้วย ทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของภาระการทำความเย็นได้ง่ายขึ้น ประกอบกับการใช้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบายช่วยปรับปรุงขอบเขตน่าสบาย รวมถึงอุณหภูมิภายในอาคารให้เหมาะสมกับอุณหภูมิที่รู้สึกได้ (Sensible Temperature) ตามขอบเขตน่าสบายของมนุษย์ แต่เพื่อที่จะเพิ่มเติมความเข้าใจในเรื่องอื่นๆมากขึ้น จึงขออภิปรายผลและมีข้อเสนอแนะบางประการดังนี้

5.1 ทดลองใช้เครื่องมือคำนวณที่จัดทำตามภาพที่ 4.2 กับตัวอย่างบ้านเดี่ยว

ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท พรสันติ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทในเครือของ บริษัท แอล.พี.เอ็น.ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน) นำมาศึกษาเป็นต้นแบบ หาความเหมาะสมของการเลือกใช้กระจก ซึ่งใช้กระจกใส 6 มม. มีค่า U-value เท่ากับ $5.25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และค่า SC เท่ากับ 0.96 เป็นกระจกอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบกับกระจกฉนวนชนิดหนึ่ง ซึ่งได้ค่าคุณสมบัติจากบริษัทผู้ผลิตกระจกคือ ค่า U-value เท่ากับ $1.91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และค่า SC เท่ากับ 0.50 ได้ผลการคำนวณตามที่แสดงในตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 ซึ่งตัวแปรอื่นๆที่ควบคุมในการออกแบบคือ เลือกคำนวณในวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดเดือนเมษายน อุณหภูมิภายในคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส แลตติจูด 16 องศาเหนือ กระจกโดนแสงอาทิตย์ และมีอุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร คำนวณที่พื้นที่การถ่ายเทความร้อนเท่ากับพื้นที่กระจกในแต่ละทิศ เพื่อให้ได้ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกระจกทั้งหมด



ภาพที่ 5.1 แสดงแบบบ้านตัวอย่างรูปด้านหน้า (ด้านที่ 1) [11]



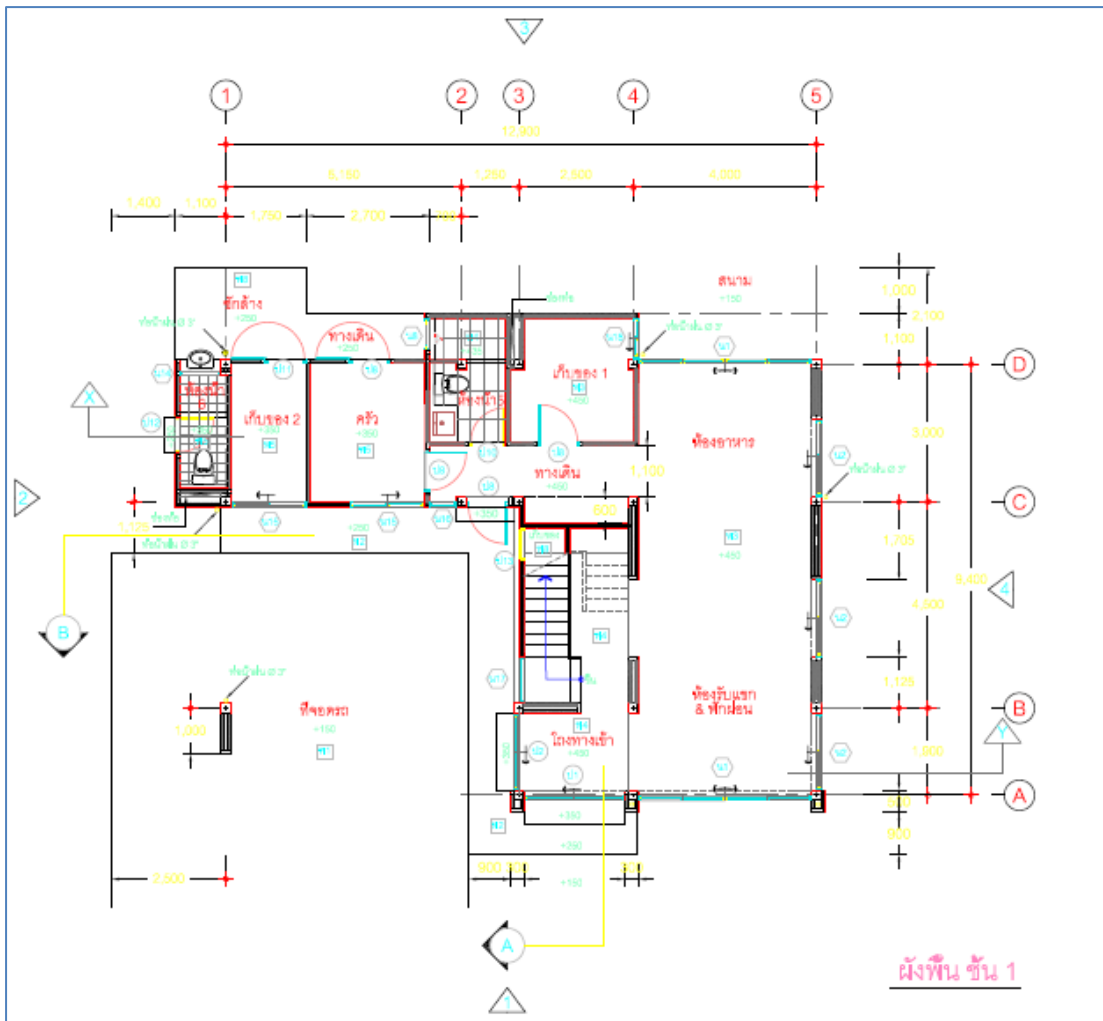
ภาพที่ 5.2 แสดงแบบบ้านตัวอย่างรูปด้านข้าง (ด้านที่ 2) [11]



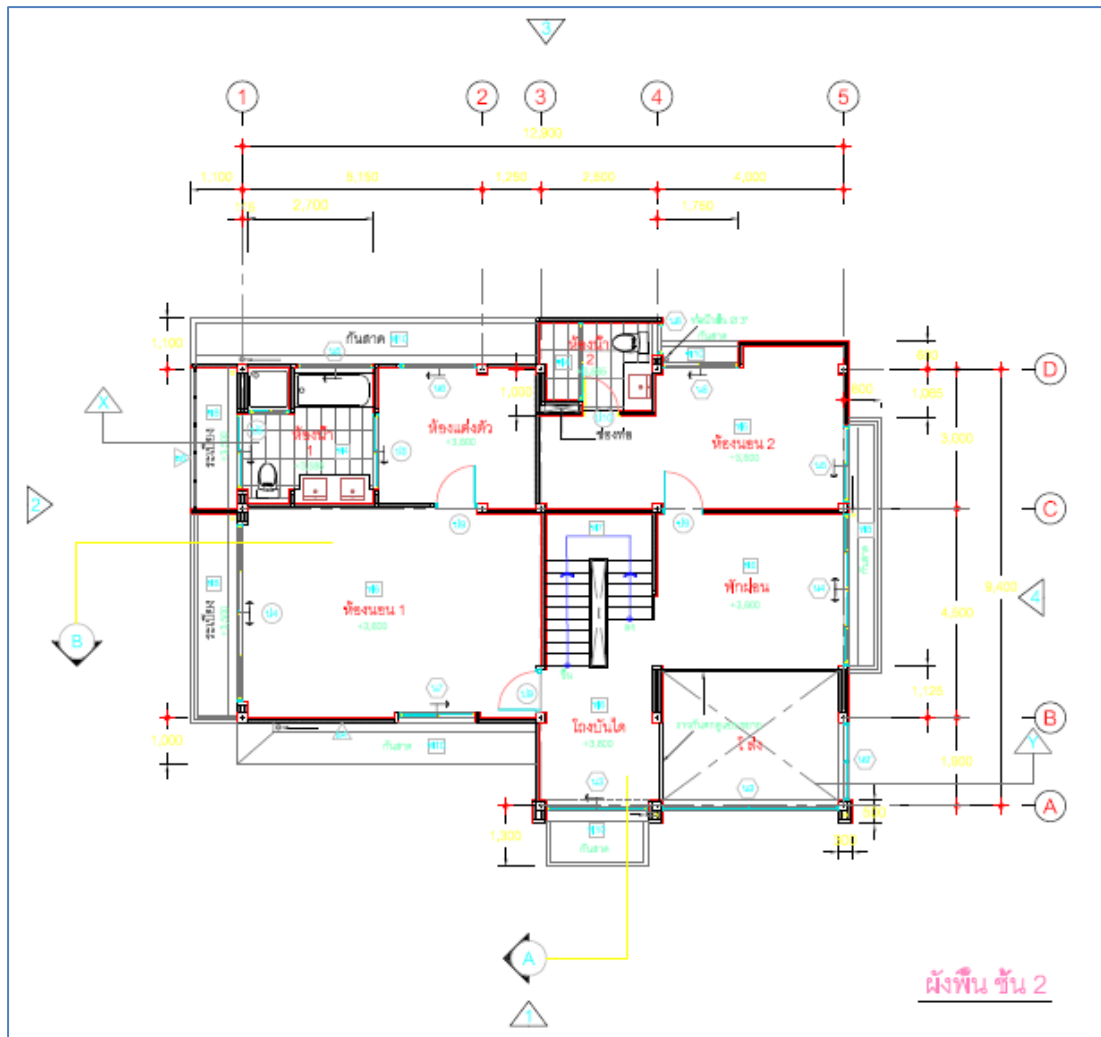
ภาพที่ 5.3 แสดงแบบบ้านตัวอย่างรูปด้านหลัง (ด้านที่ 3) [11]



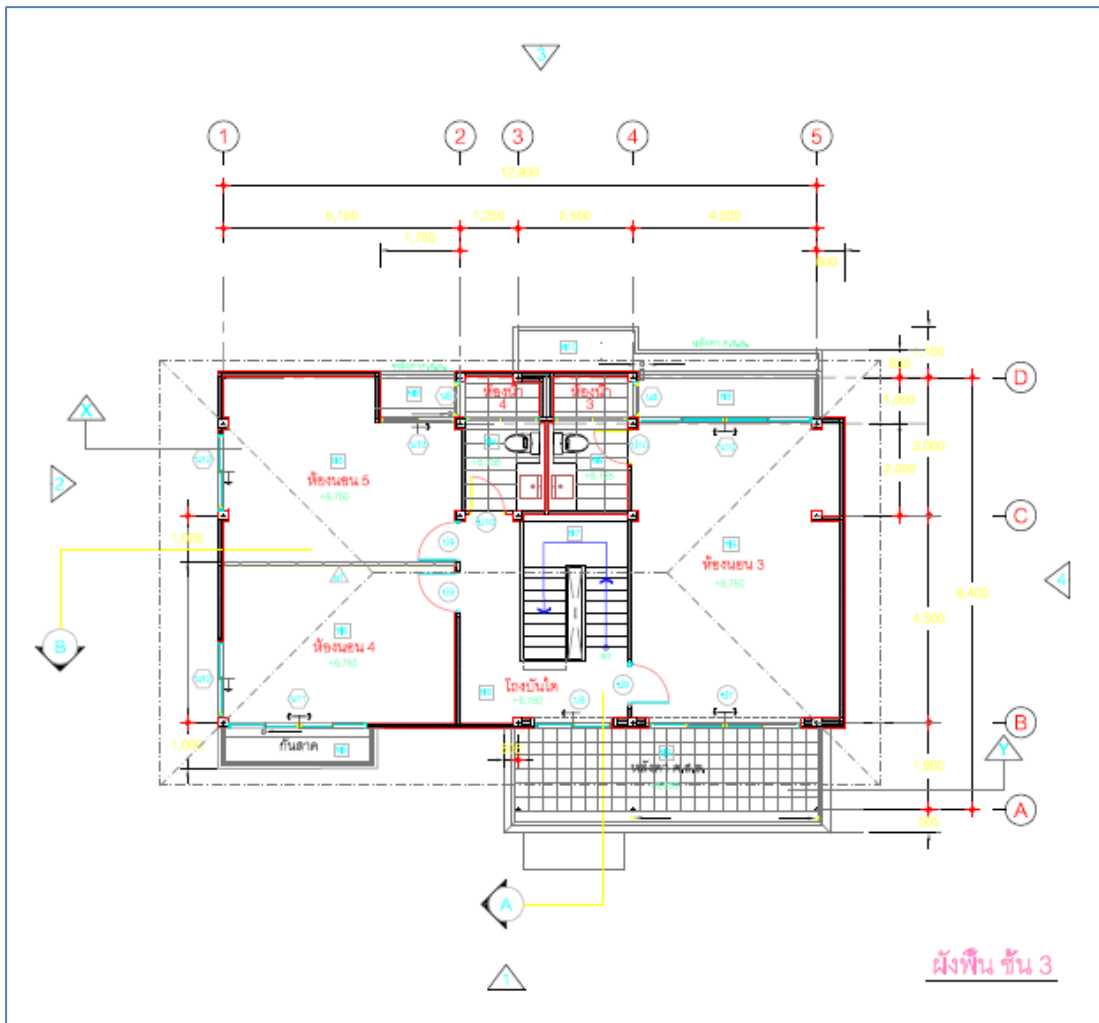
ภาพที่ 5.4 แสดงแบบบ้านตัวอย่างรูปด้านข้าง (ด้านที่ 4) [11]



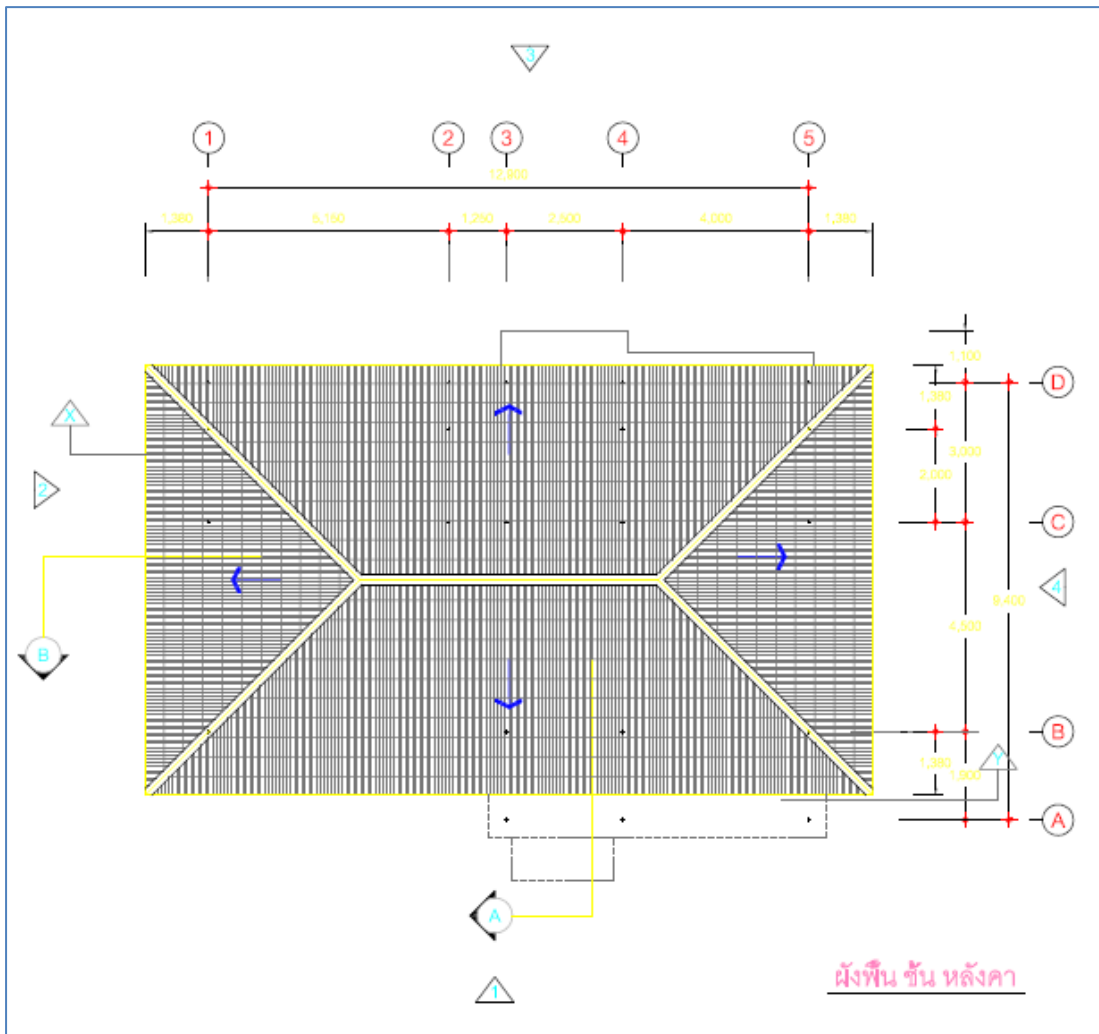
ภาพที่ 5.5 แสดงแบบบ้านตัวอย่างผังพื้น (ชั้นที่ 1) [11] ยาลัย



ภาพที่ 5.6 แสดงแบบบ้านตัวอย่างผังพื้น (ชั้นที่ 2) [11]



ภาพที่ 5.7 แสดงแบบบ้านตัวอย่างผังพื้น (ชั้นที่ 3) [11] ยาสัย



ภาพที่ 5.8 แสดงแบบบ้านตัวอย่างหลังคา [11]

โดยตัวอย่างบ้านเดี่ยวที่เลือกมาศึกษานั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ด้านที่ 1 ด้านหน้า มีพื้นที่กระจก 49.67 ตร.ม.

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณพื้นที่กระจกของด้านที่ 1 ของแบบบ้านตัวอย่าง

ลำดับ	สูง	x	กว้าง	ตารางเมตร
ด้านที่ 1	1.160	x	1.633	1.89
	1.160	x	1.630	1.89
	0.750	x	0.610	0.46
	2.245	x	2.200	4.94
	2.245	x	3.770	8.46
	2.045	x	1.650	3.37
	2.045	x	2.200	4.50
	2.045	x	3.770	7.71
	2.045	x	3.060	6.26
	2.045	x	1.690	3.46
	2.045	x	3.290	6.73
				49.67

ด้านที่ 2 มีพื้นที่กระจก 20.79 ตร.ม.

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณพื้นที่กระจกของด้านที่ 2 ของแบบบ้านตัวอย่าง

ลำดับ	สูง	x	กว้าง	ตารางเมตร
ด้านที่ 2	0.750	x	0.610	0.46
	1.865	x	1.035	1.93
	2.230	x	1.570	3.50
	2.200	x	3.800	8.36
	2.045	x	1.600	3.27
	2.045	x	1.600	3.27
				20.79

ด้านที่ 3 มีพื้นที่กระจก 26.26 ตร.ม.

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณพื้นที่กระจกของด้านที่ 3 ของแบบบ้านตัวอย่าง

ลำดับ	สูง	x	กว้าง	ตารางเมตร
ด้านที่ 3	2.245	x	3.770	8.46
	0.750	x	0.610	0.46
	0.430	x	0.885	0.38
	1.190	x	1.650	1.96
	1.190	x	1.650	1.96
	1.190	x	1.650	1.96
	2.045	x	3.770	7.71
	2.045	x	1.650	3.37
				26.26

ด้านที่ 4 มีพื้นที่กระจก 25.90 ตร.ม.

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณพื้นที่กระจกของด้านที่ 4 ของแบบบ้านตัวอย่าง

ลำดับ	สูง	x	กว้าง	ตารางเมตร
ด้านที่ 4	2.230	x	1.670	3.72
	2.230	x	1.670	3.72
	2.230	x	1.670	3.72
	0.630	x	0.675	0.43
	2.030	x	1.670	3.39
	2.045	x	3.260	6.67
	2.030	x	1.670	3.39
	0.630	x	0.675	0.43
	0.630	x	0.675	0.43
				25.90

ตัวอย่างกระจกที่เลือกมาศึกษาตามที่แสดงในตารางที่ 1.1 นั้นมีหลักในการวิเคราะห์เลือกมาศึกษาดังต่อไปนี้

- ข้อที่ 1 เลือกกระจกหลายประเภทเพื่อเปรียบเทียบตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับภาระการทำความเย็นเป็นหลัก
- ข้อที่ 2 เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับช่องเปิดของบ้านเดี่ยวโดยทั่วไป ไม่ใช่การใช้งานพิเศษ
- ข้อที่ 3 มีจำหน่ายโดยทั่วไปและใช้อย่างกว้างขวางในตลาดของประเทศไทยในปัจจุบัน
- ข้อที่ 4 ไม่มีวิเคราะห์คุณสมบัติกระจกที่เน้นด้านความสวยงาม สี หรือความปลอดภัยเฉพาะด้าน เช่นกระจกพิมพ์ลาย กระจกกันกระสุน กระจกกันไฟ กระจกเงา และอื่นๆ
- ข้อที่ 5 ไม่เลือกกระจก Soft coated ซึ่งไม่คงทนต่อการใช้งานและไม่เลือกกระจก Reflective ซึ่งให้ค่าการสะท้อนแสงที่สูง ไม่เหมาะกับการใช้งานกับบ้านเดี่ยวที่ผู้พักอาศัยเองต้องอยู่ใกล้กับกระจก

เมื่อนำพื้นที่ของกระจกแต่ละด้านมาคูณกับภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากโปรแกรมในแต่ละทิศแล้ว เปรียบเทียบระหว่างกระจกใส 6 มม. กับกระจกฉนวนที่เลือกมาศึกษา จะได้ผลการคำนวณตามตารางที่ 5.5 และ ตารางที่ 5.6ดังนี้

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากกระจกสำหรับกระจกใส 6 มม. ที่คำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แลตติจูด 16 องศาเหนือ อุณหภูมิอากาศภายนอกได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาสถาณานิคมเมือง [9] ปี 2556 กระจกโดนแดดและมีอุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร

Product no.: 5106063 FL6	Calculated Heat Gain						
	W/m2					Glass area m ²	W
	Conduction		Solar Gain		Total (MAX)		
Facing Direction	Avg.	Max	Avg.	Max			
North	36.09	98.15	56.99	107.48	205.63	49.67	10,213.71
North - East	36.09	98.15	111.34	395.87	494.03		-
East	36.09	98.15	157.54	549.96	648.11	20.79	13,474.25
South - East	36.09	98.15	117.92	367.95	466.10		-
South	36.09	98.15	36.57	113.11	211.26	26.26	5,547.80
South - West	36.09	98.15	117.35	377.04	475.19		-
West	36.09	98.15	156.68	563.71	661.86	25.90	17,142.20
North - West	36.09	98.15	111.77	427.13	525.28		-
Summary						122.62	46,377.95
Result						9.30	ตารางเมตร(กระจก)ต่อตัน(แอร์)

จากผลการคำนวณจะพบว่าถ้าคำนวณด้วยสูตรการคำนวณแบบเก่ากับกระจกใส 6 มม. จะเกิดการระงับความร้อนโดยประมาณ 22.55 ตันแอร์ (1 ตันแอร์มีค่า 3516.85 W) แต่หากคำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้นใหม่นั้น จะพบว่ากระจกใส 6 มม. จะเกิดการระงับความร้อนเพียง 17.37 ตันแอร์ ซึ่งสามารถประหยัดไปได้ 5.18 ตันแอร์

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการคำนวณการระงับความร้อนที่เกิดจากกระจกสำหรับกระจกฉนวน ที่คำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แลตติจูด 16 องศาเหนือ อุณหภูมิอากาศภายนอกได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาสถานีดอนเมือง [9] ปี 2556 กระจกโดนแดดและมีอุปกรณ์บังเงาภายในอาคาร

Product no.: 3103286 SPACE-LITE 33SE.1/12AAS/6	Calculated Heat Gain						
	W/m2					Glass area m ²	W
	Conduction		Solar Gain		Total (MAX)		
Facing Direction	Avg.	Max	Avg.	Max			
North	13.34	36.27	29.68	55.98	92.25	49.67	4,582.17
North - East	13.34	36.27	57.99	206.18	242.46		-
East	13.34	36.27	82.05	286.44	322.71	20.79	6,709.16
South - East	13.34	36.27	61.42	191.64	227.92		-
South	13.34	36.27	19.05	58.91	95.19	26.26	2,499.58
South - West	13.34	36.27	61.12	196.37	232.65		-
West	13.34	36.27	81.60	293.60	329.87	25.90	8,543.68
North - West	13.34	36.27	58.22	222.46	258.74		-
Summary						122.62	22,334.59
Result	19.31					ตารางเมตร(กระจก)ต่อตัน(แอร์)	

จากผลการคำนวณจะพบว่าถ้าคำนวณด้วยสูตรการคำนวณแบบเก่ากับกระจกฉนวน จะเกิดการระงับความร้อนโดยประมาณ 11.52 ตันแอร์ (1 ตันแอร์มีค่า 3516.85 W) แต่หากคำนวณด้วยโปรแกรมที่จัดทำขึ้นใหม่นั้น จะพบว่ากระจกฉนวน จะเกิดการระงับความร้อนเพียง 6.35 ตันแอร์ สามารถประหยัดได้ 5.17 ตันแอร์

จะเห็นได้ว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมานี้ สามารถช่วยคำนวณการระงับความร้อนให้ใกล้เคียงกับการระงับความร้อนที่เกิดขึ้นจริงได้มากขึ้น และยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายจากการสิ้นเปลืองจำนวนเครื่องปรับอากาศที่เกินจริงอีกด้วย ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้จากการเปลี่ยนวิธีการคำนวณ

รายละเอียด	กระจกใส 6 มม	กระจกฉนวน
คำนวณแบบเดิม	22.55 ตันแอร์	11.52 ตันแอร์
คำนวณแบบใหม่	17.37 ตันแอร์	6.35 ตันแอร์
แตกต่าง	5.18	5.17
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการเปลี่ยนวิธีการคำนวณ	เครื่องปรับอากาศ 5 เครื่อง ราคาประมาณ 21,000 x 5 = 105,000 บาท	

5.2 ความคุ้มค่าในการเปลี่ยนมาใช้กระจกคุณภาพดีเพื่อการประหยัดพลังงาน

เมื่อเปรียบเทียบกระจกฉนวนและกระจกใส 6 มม. จะช่วยลดภาระการทำความเย็นลงไปถึง 11.03 ตันแอร์ถ้าคำนวณแบบเก่า หรือเท่ากับ 11.02 ตันแอร์ถ้าคำนวณแบบใหม่ แต่อาจมีคนกล่าวว่า การเพิ่มค่าใช้จ่ายจากการใช้กระจกที่ราคาแพง แล้วจะคุ้มค่ากับการลงทุนที่เพิ่มขึ้นหรือไม่ ดังนั้นจึงทำการคำนวณค่าใช้จ่ายของกระจกทั้งสองชนิดโดยประมาณดังนี้

กระจกพื้นที่รวม 122.62 ตารางเมตร หรือ 1320 ตร. ฟุต

- กระจกใส 6 มม = 1320 x ราคาประมาณ 25 บาท/ตร. ฟุต = 33,000 บาท
ราคากรอบบานทั่วไปประมาณ ตารางเมตรละ 300 บาท/ตร. ฟุต = 396,000 บาท
- กระจก Heat Stop = 1320 x ราคาประมาณ 200 บาท/ตร. ฟุต = 264,000 บาท
ราคากรอบบานทั่วไปประมาณ ตารางเมตรละ 600 บาท/ตร. ฟุต = 792,000 บาท

หมายเหตุ ราคาข้างต้นเป็นราคาประมาณการเท่านั้น ซึ่งราคาที่แท้จริงนั้นต้องตรวจสอบกับผู้ผลิตในเรื่องของรูปแบบ ขนาด การใช้งาน และอุปกรณ์อื่นๆ รวมถึงปัจจัยอื่นๆอีกหลายประการ

จะพบว่าค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นมานั้นเป็นจำนวนที่มากถึง 627,000 บาทซึ่งไม่น่าดึงดูดใจให้ลงทุนเพิ่มในส่วนนี้เลย แต่หากเราวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกิดขึ้นร่วมด้วยได้แก่

- ค่าติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 11 ตัน = ราคาโดยประมาณ 21,000 บาทต่อ 1 ตันแอร์ x เฉลี่ย 11 ตันแอร์ เท่ากับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ประมาณ 231,000 บาท
- ค่าไฟฟ้าต่อเดือนต่อเครื่องปรับอากาศ 11 ตันแอร์ (เปิด 24 ชม.) = 28,600 บาทต่อเดือน

(ถ้าหากคิดโดยประมาณว่าเครื่องปรับอากาศ 1 ตันแอร์ สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 1,091 W ถ้าเปิด 1 ชั่วโมงจะใช้ไฟ 1.091 kWh ถ้าเปิด 24 hours/day ทุกวันทั้งปี จะใช้ไฟเท่ากับ $1.091 \times 24 \times 365 = 9,557$ kWh/year หรือ 9,557 units/year. เป็นเงินราวๆ 31,347 บาทต่อปี (คิดที่ 3.28 THB/unit) หรือเท่ากับ 2,600 บาทต่อเดือน โดยประมาณ)

สรุปเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มจากทุนการติดตั้งกระจกฉนวนเท่ากับ 627,000 บาท หักค่าที่สามารถประหยัดต้นทุนการติดตั้งเครื่องปรับอากาศได้อีก 231,000 บาท เท่ากับมีต้นทุนเพิ่มขึ้น 396,000 บาท แต่หากคิดค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจำนวน 11 ตันแอร์อีก 28,600 บาทต่อเดือน เท่ากับจะคืนทุนในอีก 13.8 เดือน (ถ้าเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง) หรือจะคืนทุนใน 41.5 เดือน (ถ้าเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ 8 ชั่วโมงต่อวัน)

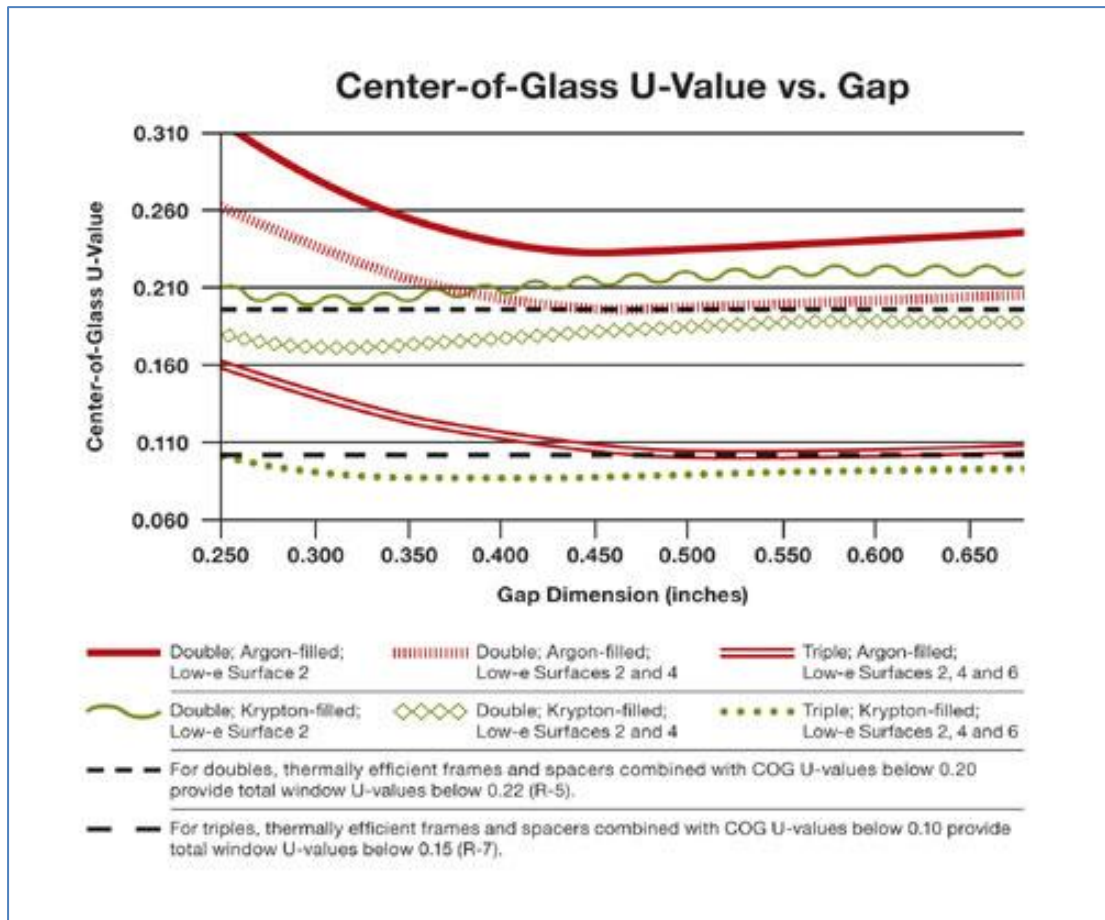
หากมองระยะเวลาคืนทุนในช่วง 1-3 ปีแล้วกับบ้านหนึ่งหลังที่ต้องอยู่ระยะยาวไม่ต่ำกว่า 10-30 ปี น่าจะเป็นทางเลือกที่ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนได้ แต่ความคุ้มค่าที่ได้รับจากการเปลี่ยนมาใช้กระจกฉนวนนั้นมีมากมายและไม่สามารถตีเป็นมูลค่าได้ ยกตัวอย่างเช่น

- UV มีค่าลดลงจากประมาณร้อยละ 68 เหลือน้อยกว่าร้อยละ 1 ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่าค่า UV สามารถทำลายพื้นผิววัสดุ สี รวมถึงผิวของมนุษย์ได้ด้วย
- SAFETY ในด้านความปลอดภัยที่มีมากกว่าเนื่องจากกระจกที่นำมาประกอบนั้นเป็นกระจกลามิเนต ซึ่งหากแตกแล้ว ก็ยังคงยึดเกาะกันอยู่ ไม่หลุดล่อนมาทำอันตรายได้
- Maintenance cost ค่าบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศลดลงเนื่องจากปริมาณเครื่องปรับอากาศลดลง
- Operating cost ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก็ต่ำตามจำนวนที่ลดลงไปด้วย
- MRTต่ำเนื่องจากผิวกระจกเย็นกว่า ส่งผลให้ได้รับอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนที่น้อยกว่า
- Comfort รู้สึกสบายเมื่ออิทธิพลจากการแผ่รังสีน้อยลง
- Vision แสงจากภายนอกไม่สว่างจ้าเกินไปเหมือนกระจกใส 6 มม
- Sound กระจกฉนวนยังช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้อีกด้วย เหมาะกับสังคมเมือง
- Condensation กระจกฉนวนช่วยลดการเกิดหยดน้ำบนผิวกระจกได้เนื่องจากลดอย่างแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในได้

จากข้อมูลเปรียบเทียบที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนั้น สามารถสรุปได้ว่ากระจกฉนวนคุณภาพดีคุ้มค่าที่จะลงทุนในการเลือกใช้งาน เพื่อการประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืนในอนาคตต่อไปด้วย

5.3 ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับกระจกฉนวน

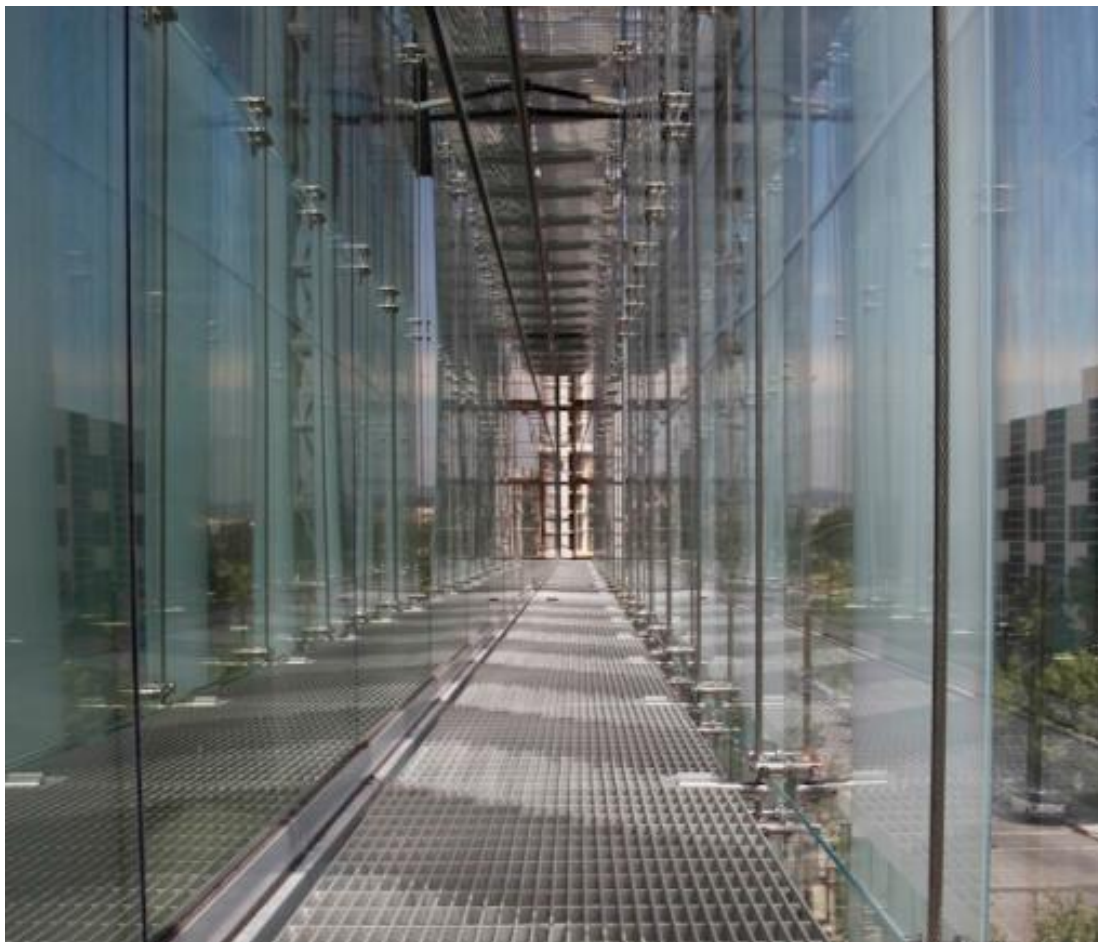
จากข้อมูลที่ได้จากบริษัทผู้ผลิตกระจกตามภาพที่ 5.9 จะพบว่าเมื่อช่องว่างอากาศเพิ่มขนาดความกว้างขึ้นจนถึงประมาณ 15 มม. จะส่งผลให้ค่า U-value นั้นลดลงเรื่อยๆ แต่ขนาดช่องว่างอากาศที่กว้างกว่า 15 มม. แล้วนั้น ค่า U-value จะค่อนข้างคงที่ ดังนั้นช่องว่างอากาศที่ให้ความเป็นฉนวนมากที่สุด หรือมีค่า U-value ต่ำที่สุดนั้นอยู่ที่ประมาณ 15 มม. หากช่องว่างอากาศมากกว่านี้ ก็เสมือนได้ค่าความเป็นฉนวนเท่ากับประมาณช่องว่างอากาศ 15 มม. เท่านั้นเอง



ภาพที่ 5.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของช่องว่างอากาศ [12]

บางกรณีที่มีการออกแบบให้อาคารมีช่องว่างอากาศกว้างมากๆ จึงไม่เป็นการเพิ่มความเป็นฉนวนให้กับอาคารแต่อย่างใด ในทางกลับกันนั้น การที่มีช่องว่างอากาศกว้างมากๆ อาจส่งผลให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านเข้ามากระทบพื้น และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนสะสมอยู่ในช่องว่างนี้คล้ายกับสถานะเรือนกระจกก็เป็นได้ตามตัวอย่างภาพที่ 5.10 ซึ่งการออกแบบลักษณะนี้ เหมาะกับภูมิอากาศแบบหนาว ซึ่งต้องการสะสมความร้อนไว้ในตัวอาคารให้ได้มากที่สุด แต่สำหรับประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนนั้น ไม่ควรก่อให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในอาคาร ซึ่งจะส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานในการทำความร้อนออกไปทิ้ง

อีกประเด็นที่เข้าใจผิดมากคือกระจกฉนวนบางประเภทที่กระจกแผ่นนอกเป็นกระจกสีซึ่งดูดซับความร้อนไว้ทำให้มีค่าการดูดซับความร้อนที่สูงหากดูตามตารางค่าคุณสมบัติของผู้ผลิต แต่กระจกแผ่นในที่เป็นกระจกใสนั้นมีค่าการดูดซับความร้อนต่ำกว่าจึงทำให้ผิวกระจกด้านในเย็นกว่าซึ่งส่งผลให้เกิดการลดค่า MRT ลง ดังนั้นหากเป็นกระจกฉนวน ค่าการดูดซับความร้อนจากตารางคุณสมบัติกระจกนั้นไม่ได้ส่งผลให้ค่า MRT สูงเสมอไปต้องวิเคราะห์ส่วนประกอบของกระจกฉนวนชนิดนั้นอย่างละเอียดเพื่อให้ทราบผลกระทบที่แน่ชัด



ภาพที่ 5.10 การออกแบบให้มีช่องอากาศขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้เกิดสภาวะเรือนกระจกได้ [13]

อีกประเด็นที่ควรหยิบยกมาศึกษากันอย่างจริงจังนั้น ควรจะเป็นเรื่องของการใช้กระจกให้ถูกต้องกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งปัจจุบันนั้นกระจกถูกนำไปใช้ติดตั้งไม่เหมาะสม เนื่องจากความเข้าใจผิด ยกตัวอย่างเช่นการเลือกใช้งานกระจกใส เคลือบสารป้องกันการถ่ายเทความร้อนติดตั้งสำหรับช่องเปิดที่โดนแดดจัด หรือช่องแสงเหนือศีรษะ ซึ่งกระจกประเภทนี้จะยอมให้ความร้อนส่งผ่านกระจกเข้ามาได้น้อยก็จริง แต่ในความเป็นจริงไม่สามารถที่จะป้องกันการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากแสงอาทิตย์ได้ เมื่อกระจกใส ก็จะยอมให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านเข้ามามากจนเกิดเป็นภาวะการทำความร้อนที่มากกว่าภาวะการทำความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อน ทำให้เกิดความชื้นสะสมอยู่ภายใน เนื่องจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับวัสดุทึบแสง จึงเปลี่ยนความความคลื่นเป็นช่วงความยาวคลื่นที่เป็นความร้อนแทน ในบางกรณีความร้อนสะสมนี้จะเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้อุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอก เช่นใต้ช่องแสงเหนือศีรษะขนาดใหญ่ แต่เนื่องจากกระจกเคลือบสารป้องกันการถ่ายเทความร้อนนั้นยอมให้เกิดการถ่ายเทความร้อนต่ำ ความร้อนภายในอาคารจึงไม่สามารถถ่ายเทออกสู่สภาวะแวดล้อมได้ เกิดเป็นปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจกขึ้นภายในอาคาร คือความร้อนเข้าได้ แต่ไม่สามารถกลับออกไปได้

5.4 ข้อจำกัดและแนวทางการพัฒนาเครื่องมือที่จัดทำขึ้นมา

แม้ว่าหลักการในการคำนวณที่เลือกใช้ใช้นั้นจะอ้างอิงจากข้อมูลจากคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. ซึ่งค่อนข้างย้อนหลังไป แต่การคำนวณด้วยหลักการนี้ก็เป็นการคำนวณที่อ้างอิงตามหลักทฤษฎี อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งตัวแปรได้หลากหลายให้เข้ากับแต่ละพื้นที่ แต่ละรูปแบบของตัวอาคาร เพื่อให้ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นนั้นเข้าใกล้ความจริงมากที่สุด อีกทั้งเครื่องมือที่จัดทำขึ้นมาใหม่นี้ ได้ทำการปรับปรุงฐานข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกล่าสุดของปี พ.ศ.2556 ที่เก็บข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ณ สถานีตอนเมือง [9] แม้ว่าละติจูดที่เก็บค่านั้นจะอยู่แค่ประมาณ 14 องศาเหนือแต่ข้อมูลที่มีจากคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. นั้นจะอ้างอิงใกล้เคียงที่สุดที่ 16 องศาเหนือ ซึ่งอยู่ประมาณจังหวัดนครสวรรค์ของประเทศไทย แต่ผลการคำนวณที่ได้มานั้น เมื่อรวมกับตัวแปรอื่นๆด้วยแล้วนั้น ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งละติจูดไม่มีผลกระทบต่อความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

หรือหากมีผู้สนใจต้องการที่จะทำการพัฒนาโปรแกรมและฐานข้อมูลให้ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากขึ้น อาจจะทำให้การเก็บข้อมูลสภาพอากาศของไทยอย่างละเอียดเทียบกับข้อมูลที่มีให้ตามคู่มือ *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. เพื่อลดความผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำของสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับปัจจุบันมากขึ้น

ในส่วนของคุณสมบัติของกระจกที่มีให้ในตารางนั้น อาจจะมีน้อยอยู่มาก หากเทียบกับชนิดของกระจกที่มีอยู่ในตลาดปัจจุบันซึ่งแต่ละผู้ผลิตเองก็จะมีกระจกหลากหลายชนิดมากมาย หากมีการเพิ่มเติมข้อมูลเข้าไปให้มากขึ้น เครื่องมือหรือโปรแกรมที่จัดทำขึ้นมาใหม่นี้ก็จะใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือในอีกกรณีที่ไม่ได้ทำการเพิ่มคุณสมบัติของกระจกเข้าไปแต่เครื่องมือนี้ก็ยังสามารถที่จะใส่ค่า SC และ U-value ที่ต้องการได้ หลังจากนั้นจึงส่งให้ผู้ผลิตกระจกตรวจสอบหาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมได้ภายหลัง

อีกหัวข้อที่น่าจะมีการพัฒนาต่อไปคือการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานได้ง่ายและกว้างขวางมากขึ้น อย่างเช่นสามารถใช้งานผ่านเว็บไซต์ได้ หรือพัฒนาเป็น App (Application) สำหรับอุปกรณ์สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ต ที่ปัจจุบันนี้บุคคลทั่วไปก็สามารถเข้าถึงได้ง่าย

รายการอ้างอิง

1. World Bank. *East Asia and the Pacific Report Update 2014* [cited 2014 December 5]; Available from: http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/EAP/Thailand/Thailand_EAP_Update-Apr2014_TH.pdf.
2. Brahic, C. *Climate myths: The cooling after 1940 shows CO2 does not cause warming*. 2007 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.newscientist.com/article/dn11639-climate-myths-the-cooling-after-1940-shows-co2-does-not-cause-warming.html#.VlFOFcmVFvA>.
3. Xiamen Weiyao glass Factory. *Tempered Glass, Building Glass*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.weiyao-glass.com/portfolio-category/glass-curtain-wall/>.
4. บริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด, *Performance data*. 2557.
5. American society of heating refrigerating and air-conditioning engineers., *ASHRAE handbook 1989 : Fundamentals*. SI ed. 1989: Atlanta, Ga. 1 bd. (flere pagineringer).
6. สุนทร บุญญธิการ และคณะ, *พลังงานใกล้ตัว*, ed. 1. 2545, กรุงเทพมหานคร: บริษัท เฟิสท์ ออฟเซท (1993) จำกัด.
7. สุนทร บุญญธิการ, *อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ*, ed. 1. 2545, กรุงเทพมหานคร. 200 หน้า.
8. สุนทร บุญญธิการ, *การออกแบบประสานระบบ มหาวิทยาลัยชินวัตร*, ed. 1. 2545, กรุงเทพมหานคร: บริษัท โอเอส พรินติ้งเฮาส์ จำกัด.
9. กรมอุตุนิยมวิทยา, *อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร วัดที่สถานีดอนเมือง*. 2556, ศูนย์ ภูมิอากาศแห่งชาติ.
10. Robert Bean, R.E.T., P.L.(Eng.) and www.healthyheating.com. *Mean Radiant Temperature (MRT)*. 2010 [cited 2014 August 18]; Available from: <http://www.healthyheating.com/Definitions/Mean%20Radiant.htm#.VJEbB8mV FvB>.
11. บริษัท แอล.พี.เอ็น.ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน), *แบบบ้านตัวอย่างเพื่อการศึกษา*. 2553.

12. American Architectural Manufacturers Association. *DOE R-5 Program Challenges Window Designers*. 2011 [cited 2014 December 12]; Available from: <http://www.aamanet.org/news/2/41/0/all/519/doe-r-5-program-challenges-window-designers>.
13. Regazzoli, A. *'Seeing Double' – Part I The Concept of a Double-Skin Façade*. 2014 January 22 [cited 2014 December 7]; Available from: <http://www.fenestrapro.com/seeing-double-part-i-the-concept-of-a-double-skin-facade-2/>.
14. สุนทร บุญญาธิการ, นวัตกรรมการใช้กระจกสำหรับเมืองร้อนชื้น, ed. 1. 2551, กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด คูลพรีนธ์.
15. Guardian Industries Corp. Ltd. [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.guardianthailand.com>.
16. Nippon Sheet Glass Co. Ltd., *Float glass production process*. 2014.
17. Nippon Sheet Glass Co. Ltd. *On line coating process*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.pilkington.com/resources/online19.jpg>.
18. AGC Glass Company North America. *Heat Treated Glass*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://us.agc.com/building/fabricated-glass/type/fabricated-glass-type#tab5>.
19. PPG Industries. *Heat Strengthened vs. Tempered Glass*. [cited 2014 December 5]; Available from: http://educationcenter.ppg.com/glassttopics/heated_glass.aspx.
20. Casso-Solar Technologies. *Bending - Car, Bus, Truck & Train*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.cassosolartechnologies.com/automotive-glass-Bending.cfm>.
21. VETROTEC S.R.L. *Sanblasting Process*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.vetrotec.com/images/decorazione/Sabbiatura.jpg>.
22. Nippon Sheet Glass Co. Ltd. *Off line coating process*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.pilkington.com/resources/offline9.jpg>.

23. Dip-Tech Digital Printing Technologies Ltd. *Glass Digital printing process*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: http://www.dip-tech.com/glass_processing.
24. LiSEC. *More Competitive with Cost Effective Lamination Solutions*,. 2012 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.lisec.com/en/News-Press/Newsletter/Lisec-update-1-2012/More-Competitive-with-Cost-Effective-Lamination-Solutions>.
25. Xinology Co. Ltd. *Complete IGU Insulated Glass Production Line*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://xinology.com:888/Glass-Processing-Equipments-Supplies-Consumables/glass-insulating/overview/introduction.html>.
26. Nippon Sheet Glass Co. Ltd. *Pilkington Optiwhite*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <https://www.pilkington.com/en-gb/uk/products/product-categories/special-applications/pilkington-optiwhite>.
27. RUNTAI INDUSTRY CO. LTD. *TINTED FLOAT GLASS*. 2013 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.sinoruntai.com/tintedfloatglass.html>.
28. Bharat Safety Glass (P) Ltd. *Tempered glass*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: http://www.bharatsafety.com/tempered_glass.html.
29. Tjskl.org.cn. *screen printing glass color*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.tjskl.org.cn/screen-printing-glass-color-images>.
30. Shamah, D., *Making the world beautiful, one glass pane at a time*. 2013.
31. Qingdao Jack Glass Co. Ltd. *Reflective Glass*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.jackglass.cn/show.asp?id=25>.
32. DDSV-Concept Company Limited. *Laminated Glass* 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.glasseffexts.com/GLASS-KNOWLEDGE/Laminated-Glass>.
33. บริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด. กระจก้นกระสุน BR-LITE. 2557 [cited 5 ธันวาคม 2557]; Available from: http://www.tgsg.co.th/product.php?pg_id=4&psub_id=15&p_type=pic.

34. บริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด. กระจกอัจฉริยะ *iZZi by iGlass*. 2557 [cited 5 ธันวาคม 2557]; Available from: http://www.tgsg.co.th/product.php?pg_id=7&psub_id=21&p_type=pref.
35. บริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด. *Pilkington Pyrostop (EI-glazing)*. 2557 [cited 5 ธันวาคม 2557]; Available from: http://www.tgsg.co.th/product.php?pg_id=5&psub_id=29.
36. akanek_ja_ja. *Architectural Glass* กระจกในโลกของการตกแต่ง 2555 [cited 5 ธันวาคม 2557]; Available from: <http://community.akanek.com/th/articles/akanekjaja/architectural-glass-types>.
37. AGC Asia Pacific Pte Ltd. *Polished Wire Glass*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://agc-flatglass.sg/products-detail.aspx?id=38>.
38. Nippon Sheet Glass Co. Ltd. *Pilkington OptiView™ Low reflective glass that reduces visible light reflectance* 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <http://www.pilkington.com/north-america/usa/english/products/bp/bybenefit/specialapplications/optiview/home.htm>.
39. Nippon Sheet Glass Co. Ltd. *Pilkington Activ™ Self-Cleaning Glass*. 2014 [cited 2014 December 5]; Available from: <https://www.pilkington.com/en-gb/uk/householders/types-of-glass/self-cleaning-glass>.
40. บริษัท กระจกलयสยาม จำกัด. กระจกलयเมทริกซ์ใส (*Clear Matrix*). 2557 [cited 5 ธันวาคม 2557]; Available from: <http://www.spgind.com/product2.php>.
41. บริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด. *Medlac Pharma Italy Factory in Vietnam*. 2554 [cited 5 ธันวาคม 2557]; Available from: http://www.tgsg.co.th/projectref_detail.php?pjrefid=3.
42. บริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด. *SPY MIRROR*. 2014 [cited 14 ธันวาคม 2557]; Available from: http://www.tgsg.co.th/product.php?pg_id=7&psub_id=27&p_type=desc.
43. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers., *ASHRAE handbook 1997 : fundamentals : SI edition*. 1997, Atlanta,Ga., 1 bd. (flere pagineringer).

44. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers., 2001 *ASHRAE handbook : fundamentals : SI edition*. 2001, Atlanta, Ga., 1 bd. (flere pagineringer).





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระจกที่ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

กระจกเป็นวัสดุที่มีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับประเภทการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันไปอย่างกว้างขวางและเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากประชากรและสังคมเมืองนั้นมีการขยายตัวตลอดเวลา บ้านหรือที่อยู่อาศัยจึงมีการขยายตัวตามความต้องการไปด้วยเช่นกัน ทำให้กระจกถูกนำมาใช้งานมากขึ้น เพราะกระจกเป็นวัสดุโปร่งใส ที่มนุษย์นิยมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบอาคาร ทำให้ได้รับแสงสว่างรวมถึงมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมโดยรอบด้วย และยังได้รับความสวยงาม ความเงางามของกระจกอีกเช่นกัน

มนุษย์นั้นรู้จักที่จะนำกระจกมาใช้ตั้งแต่สมัยโบราณตั้งแต่ในยุคเมโสโปเตเมียและยุคอียิปต์ ซึ่งขั้นตอนการผลิตนั้นเกิดจากการนำทรายที่หลอมเหลวแล้วจนเป็นน้ำแก้ว มาเทใส่แม่พิมพ์ เกิดเป็นเครื่องแก้วต่างๆ และต่อมาในยุคของอาณาจักรโรมันจึงได้คิดค้นวิธีการเป่าแก้วขึ้นมา ซึ่งก่อให้เกิดเครื่องแก้วประเภทต่างๆ มากมายที่มีความบางมากกว่าสมัยก่อน อีกทั้งยังมีรูปแบบที่สวยงามขึ้นอีกด้วย แต่กระจกแผ่นเรียบนั้นเริ่มมีการผลิตได้ในช่วงต้นศตวรรษที่ 13 นี้เอง แต่ก็ผลิตได้แค่แผ่นขนาดเล็กเท่านั้น ต่อมากระบวนการการผลิตกระจกก็มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องเริ่มมาตั้งแต่การผลิตด้วยวิธีการหล่อกระจกแผ่นบนโต๊ะที่วางแผ่นเหล็ก (Table Casting Process) ในศตวรรษที่ 16 และพัฒนาวิธีการผลิตต่อมาในศตวรรษที่ 20 ด้วยวิธีการใช้ลูกกลิ้งขนาดใหญ่รีดน้ำแก้วให้เป็นแผ่น (Colburn Process) จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1959 ได้มีการคิดค้นกระบวนการผลิตด้วยวิธีลอยน้ำแก้วในอ่างดีบุกหรือที่เราเรียกว่า (Floating Process) โดย Sir. Alastair Pilkington [14] จนถึงกระทั่งทุกวันนี้เราเรียกกระจกที่ผ่านขั้นตอนการผลิตด้วยวิธีแบบนี้ว่ากระจกโฟลท (Floated glass) ในปัจจุบันกระจกถูกผลิตขึ้นด้วยกระบวนการนี้เกือบทั้งหมด มีกระจกบางประเภทเท่านั้นที่ผลิตด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น กระจกลอยตาย ที่เป็นกระจกซึ่งผลิตด้วยการใช้ลูกกลิ้งรีดน้ำกระจกออกมาเป็นแผ่นและมีลอยตายออกมาด้วยตามพื้นผิวที่ปรากฏอยู่บนลูกกลิ้งนั้นๆ



ภาพที่ ก. 1 กระจกโฟลท (Floated Glass) [15]

ก.1 ขั้นตอนการผลิตกระจกโฟลท

กระจกโฟลท ซึ่งเป็นกระจกที่ถูกนำมาใช้เป็นส่วนใหญ่มากับงานด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นบ้านอยู่อาศัยขนาดเล็ก หรือรวมไปถึงโครงการขนาดใหญ่ๆ ก็ตาม ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. นำวัตถุดิบต่างๆ ซึ่งได้แก่ วัตถุดิบหลัก คือ ทราย (Silica sand) โซดาแอส (Soda Ash) หินปูน (Lime stone) และเศษกระจกซึ่งเป็นวัสดุที่นำกลับมาหลอมใหม่ (Recycle)

ผสมรวมกับวัตถุดิบรองอื่นๆ และสารเคมีที่เป็นตัวเสริมให้กระจกมีคุณสมบัติอื่นๆ แตกต่างกันไป เช่น

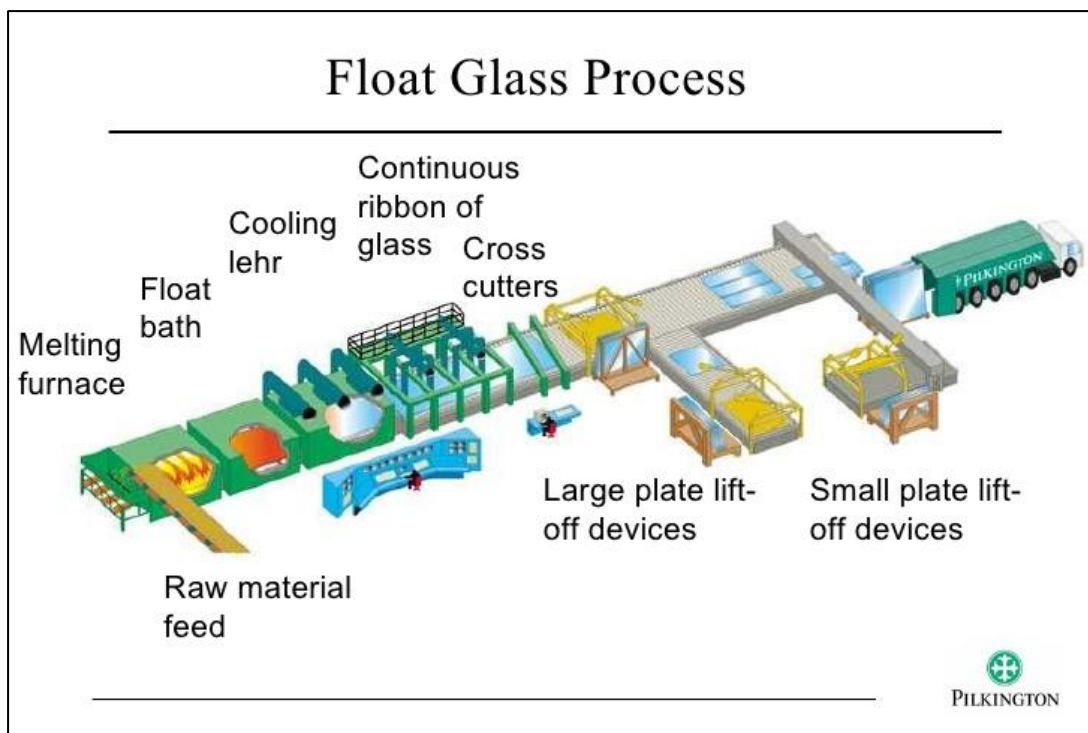
- ซีลีเนียม (Selenium) โคบอลต์ออกไซด์ (Cobalt Oxide) ทำหน้าที่ฟอกสีเนื้อกระจกให้มีความใส
- อลูมินา (Alumina) เพื่อเพิ่มความคงทนให้กับกระจก
- ฟลูออโรสปาร์ (Fluorspar) สารลดความหนืด
- โคบอลต์ ทองแดง ซีลีเนียม ถ่าน ที่ทำให้เกิดสีในเนื้อกระจก
- อื่นๆ

ซึ่งอัตราส่วนของวัตถุดิบต่างๆ นั้น ขึ้นอยู่กับว่าจะผลิตกระจกชนิดไหน ความหนาเท่าไร และยังขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแต่ละรายอีกด้วย โดยนำส่วนผสมทั้งหมดบดเข้าด้วยกัน และนำเข้าเตาหลอมที่อุณหภูมิประมาณ 1500 – 1600 องศาเซลเซียส จนหลอมละลายเป็นน้ำแก้วเหลว

2. น้ำแก้วเหลวจะถูกดันให้เข้าสู่อ่างตีบุกเหลว ซึ่งตีบุกเหลวมีค่าความตึงผิวสูงทำให้น้ำกระจกเหลวนั้นลอยแผ่กระจายอยู่ด้านบน ซึ่งเป็นที่มาของชื่อเรียกของกระจกโฟลทนั่นเอง

3. น้ำแก้วจะถูกผลักดันให้ลอยต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งทำให้เนื้อกระจกค่อยๆ เย็นตัว และแข็งตัวขึ้น จนได้แผ่นกระจกที่แข็งและเรียบออกมา ซึ่งความเร็วในการผลักดันกระจกนี้เองที่ทำให้สามารถกำหนดความหนาของกระจกได้

4. เมื่อกระจกแข็งตัวดีแล้ว จะถูกดึงขึ้นบนลูกกลิ้ง ลำเลียงต่อไปยังขั้นตอนการตัดกระจกออกมาเป็นแผ่นๆ ขนาดใหญ่ และส่งไปบรรจุและขนย้ายส่งให้ผู้ใช้งานต่อไป



ภาพที่ ก. 2 แสดงขั้นตอนการผลิตกระจกโฟลท (Float Glass Process) [16]

ก.2 ขั้นตอนการแปรรูปกระจกโฟลท

กระจกโฟลทสามารถที่จะนำมาแปรรูปให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นได้อย่างหลากหลาย เช่น การแปรรูปให้กระจกมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น การแปรรูปให้กระจกมีความปลอดภัยในการใช้งานมากขึ้น หรือการแปรรูปโดยการนำกระจกหลายแผ่นมาประกบกันเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆให้มากขึ้น ซึ่งการแปรรูปนั้นสามารถทำได้ทั้งระหว่างขั้นตอนการผลิตกระจกโฟลท หรือที่เราเรียกว่า On-Line process อีกทั้งยังสามารถทำการแปรรูปภายหลังจากที่เราได้กระจกแผ่นเรียบร้อยแล้ว หรือที่เราเรียกว่า Off-Line process โดยทั้งสองกระบวนการนั้นล้วนให้ค่าคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป

ก.2.1 การแปรรูปในระหว่างกระบวนการผลิต On-Line process

คือ การปรับเปลี่ยนคุณสมบัติต่างๆ ของกระจกระหว่างการผลิตกระจกโฟลทซึ่งสามารถทำได้หลายรูปแบบ ดังรายละเอียดดังนี้

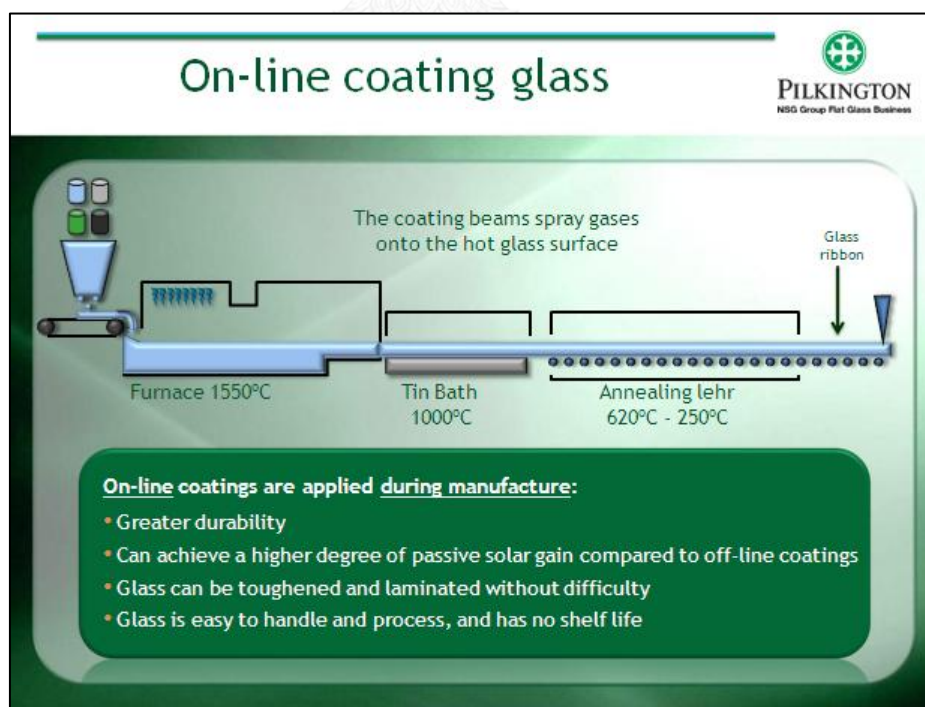
ก) การเจือสี

เป็นกระบวนการเพิ่มออกไซด์ของโลหะบางชนิดเข้าไปในขั้นตอนการหลอมวัตถุดิบ เพื่อให้กระจกที่ผ่านออกมาจากขั้นตอนการผลิตนั้นมีเนื้อสีของกระจกที่เปลี่ยนไป เช่นที่เราพบเห็นได้ทั่วไปคือ สีเขียว สีชา หรือสีฟ้า เป็นต้น ซึ่งกระจกที่มีเนื้อสีกระจกเหล่านี้เราเรียกโดยรวมว่ากระจก Tinted

glass และยังมีกระบวนการอีกประเภทหนึ่งที่เกิดจากการลดออกไซด์ของโลหะให้น้อยที่สุด เพื่อให้ได้กระจกที่มีความใสมากขึ้นเป็นพิเศษ หรือที่เรียกกันทั่วไปว่ากระจกใสพิเศษ (Low Iron Density Glass) ซึ่งโดยปกติกระจกใสทั่วไปเมื่อเรามองดูที่ขอบกระจกนั้นจะพบว่าสีที่เห็นมีลักษณะอมเขียว ทำให้เห็นขอบกระจกมีลักษณะเป็นสีเขียว หรือเขียวเข้มหากกระจกมีขนาดใหญ่มากขึ้น แต่กระจกใสพิเศษนั้น เมื่อมองที่ขอบกระจก ถ้ากระจกมีขนาดเล็กจะพบว่าขอบจะใสใกล้เคียงกับการมองกระจกหน้าตรง หรือจะมีลักษณะสีอมฟ้าอ่อนๆ ถ้ากระจกมีขนาดใหญ่มากขึ้น

ข) กระบวนการเคลือบผิวในขั้นตอนการผลิต

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างที่กระจกกำลังเย็นตัวลง คือ อยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 450-600 องศาเซลเซียส จะทำการพ่นอนุภาคโลหะหลากหลายชนิด เคลือบไปบนผิวกระจกหลายๆชั้น ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงค่าการสะท้อนและหักเหของแสง รวมถึงคุณสมบัติของการดูดซับความร้อนด้วย ซึ่งสามารถทำให้สีของกระจกเปลี่ยนไปได้เนื่องจากการหักเหของแสงนี้เอง เมื่ออนุภาคโลหะเหล่านี้ติดบนผิวกระจกแล้ว จะฝังตัวลงไปในเนื้อกระจกที่ยังไม่แข็งตัวดี ทำให้อนุภาคเหล่านี้ติดแน่นอยู่กับเนื้อกระจก เมื่อกระจกเย็นลง ผิวที่เคลือบจะมีความทนทาน ไม่หลุดลอกออก เราเรียกการเคลือบผิวกระจกด้วยกระบวนการนี้ว่า Hard Coated ซึ่งกระจกที่เคลือบผิวแบบ Hard Coated นี้ สามารถนำไปแปรรูปต่อหลังจากกระบวนการนี้ได้อีก เช่น กระบวนการอบ หรือ กระบวนการตัดโค้ง แต่ก็ไม่ทำให้สารเคลือบผิวเกิดการหลุดลอกเสียหาย



ภาพที่ ก. 3 กระบวนการเคลือบผิวแบบ Hard Coated [17]

ค) กระบวนการเสริมลวด

คือ การนำลวดขนาดเล็ก ที่สานกันให้มีลักษณะเป็นตาข่ายใส่เข้าไปในเนื้อกระจกในระหว่างที่กระจกยังไม่แข็งตัว ทำให้เมื่อกระจกเย็นตัวแล้ว จะได้กระจกที่มีเส้นลวดฝังอยู่ในกระจก ซึ่งการผลิตในลักษณะนี้ก็เพื่อให้กระจกที่ได้มีความปลอดภัยมากขึ้นเมื่อนำไปใช้งาน หมายความว่าเมื่อกระจกแตกร้าว ชิ้นส่วนที่แตกส่วนใหญ่ของกระจกยังคงถูกยึดติดกันด้วยเส้นลวดเหล่านี้ มีเพียงเศษกระจกเพียงเล็กน้อยที่อาจหลุดออกมา แต่ก็ไม่สามารถที่จะทำอันตรายร้ายแรงกับผู้ใช้งานได้ ซึ่งกระจกเสริมลวดนี้ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้เป็นกระจกที่ป้องกันอัคคีภัย เนื่องจากเมื่อเกิดอัคคีภัยแล้วกระจกแม้จะแตกแต่ก็ยังสามารถสกัดกั้นเปลวไฟและควันไฟส่วนใหญ่ไว้ได้เพราะไม่เกิดรอยแตกขนาดใหญ่ แม้กระจกเสริมลวดจะไม่สกัดกั้นความร้อนที่สามารถถ่ายเทเข้ามาได้ก็ตาม

ก.2.2 การแปรรูปหลังกระบวนการผลิต Off-Line process

คือ การปรับเปลี่ยนคุณสมบัติต่างๆ ของกระจกหลังการผลิตกระจกโฟลท หรือการนำกระจกโฟลทที่ผลิตเสร็จแล้วมาทำการแปรรูป ซึ่งสามารถทำได้หลายรูปแบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก.2.2.1 การแปรรูปขั้นต้น (Primary Process) คือ การปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของกระจก โดยที่ไม่มีการใช้สารเคมี หรือใช้วัสดุอื่นใดเพิ่มเข้าไปในกระจก ซึ่งมีหลายวิธีดังนี้

ก) กระบวนการให้ความร้อน หรือการอบแข็ง (Heat Treated)

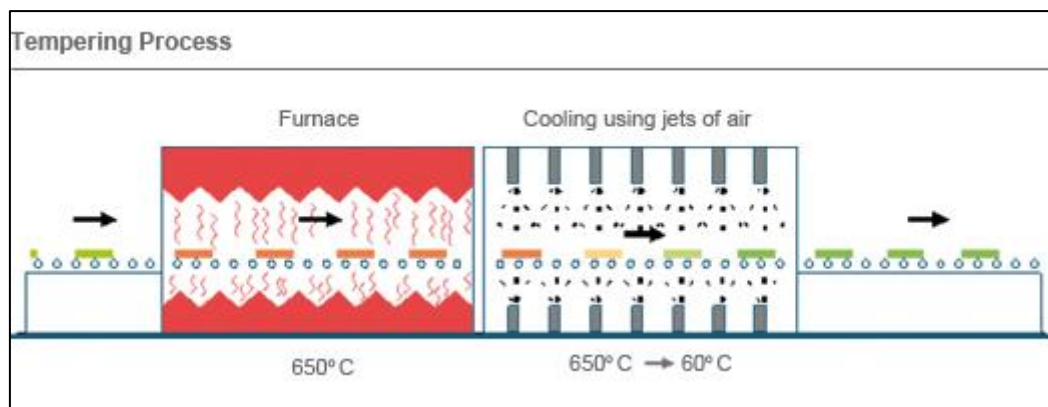
เป็นกระบวนการขั้นต้นของการปรับคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของกระจก ซึ่งกระบวนการอบแข็งนี้สามารถทำได้โดย

1. นำกระจกโฟลทความหนาที่ต้องการมาตัดให้ได้ขนาดกว้างยาวตามที่ต้องการ รวมถึงทำการเจาะรู ตัดบากสำหรับใส่อุปกรณ์ยึดจับกระจกต่างๆ เช่น รูสำหรับมือจับ หรือใช้สำหรับใส่บานพับ และอื่นๆ เนื่องจากเมื่อทำการอบแข็งแล้วนั้น กระจกจะไม่สามารถทำการตัดหรือเจาะรูใดๆได้อีก เราจึงต้องทำทั้งหมดก่อนการอบ

2. นำกระจกที่ได้นั้น เข้าเครื่องล้างเพื่อขจัดสิ่งสกปรกบนผิวกระจกออกทั้งหมด

3. ลำเลียงกระจกผ่านเข้าไปในเตาอบที่ให้อุณหภูมิที่ให้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ซึ่งมีอุณหภูมิโดยประมาณที่ 600 – 650 องศาเซลเซียส ซึ่งกระจกเริ่มจะมีความอ่อนตัวแล้ว

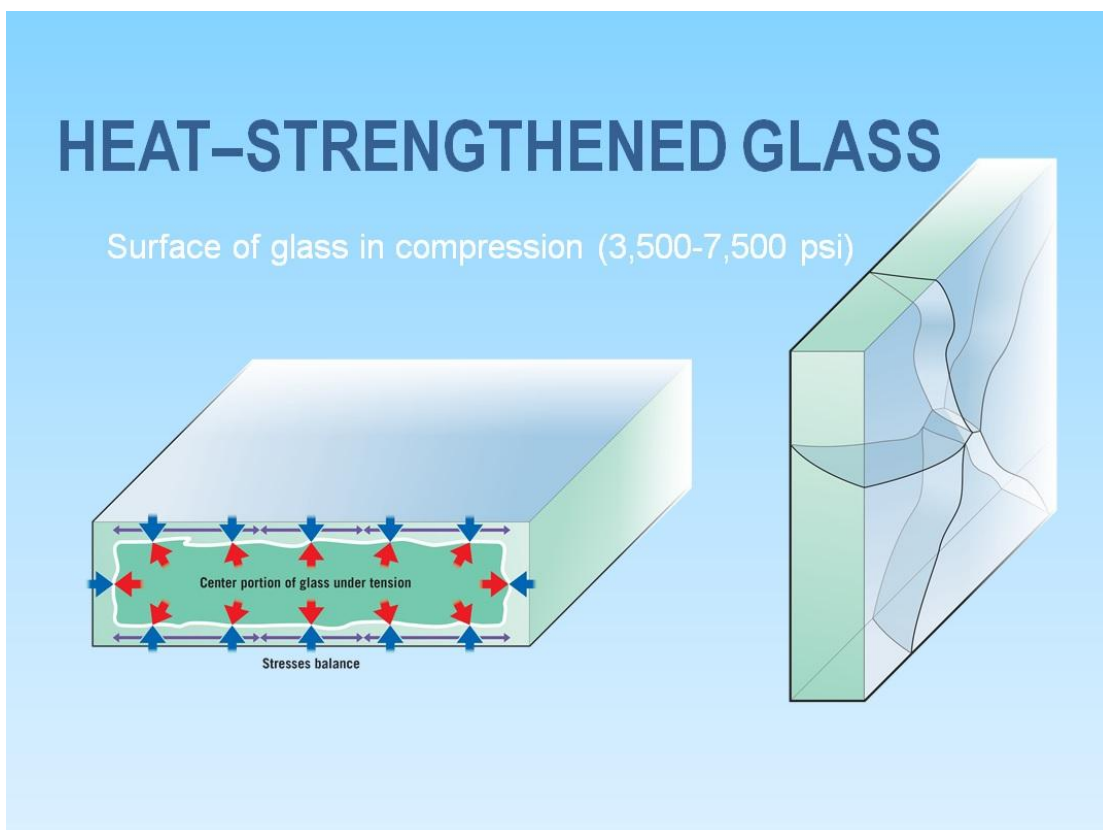
4. เมื่อกระจกมีอุณหภูมิสม่ำเสมอโดยทั่วกันแล้วจะถูกลำเลียงต่อมาไปยังเครื่องเป่าเย็น ซึ่งจะทำการเป่าลมแรงไปที่ผิวกระจกทั้งสองด้าน เพื่อให้ผิวกระจกเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดชั้นแรงบีบ(Compression) ที่ผิวกระจกทั้งสองด้าน และเนื้อกระจกภายในที่เย็นช้ากว่าจะเกิดเป็นชั้นแรงผลึก (Tension) ความสมดุลของชั้นผิวกระจกและเนื้อภายในกระจกนี้เองที่ทำให้กระจกมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งระยะเวลาในการเป่าให้กระจกเย็นนั้น จะเป็นการควบคุมความแข็งแรงของกระจก



ภาพที่ ก. 4 กระบวนการให้ความร้อน หรืออบแข็ง (Heat Treated) [18]

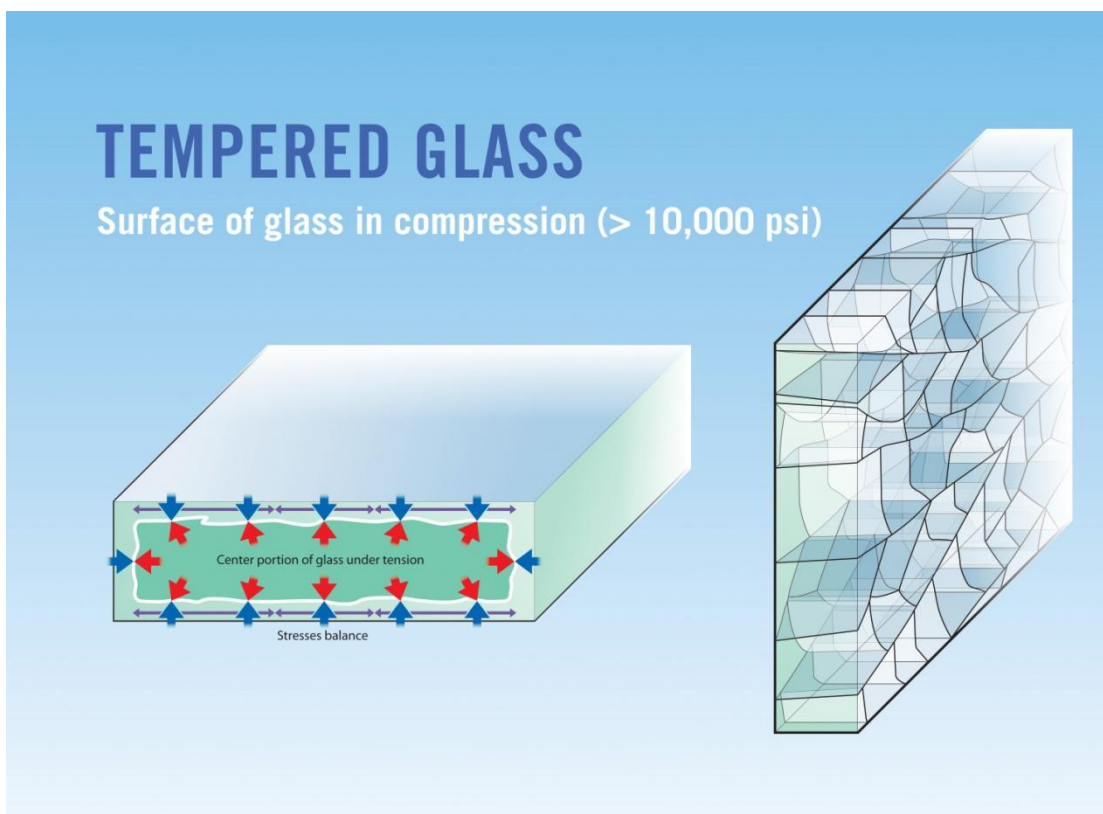
ซึ่งเราสามารถแยกประเภทของกระจกที่ผ่านการอบแข็งตามความแข็งที่ผิวกระจกได้ 2 ประเภท คือ

1. กระจกฮีทสเตรงค์เทน Heat Strengthened glass ซึ่งมีค่าความแข็งที่ผิว (Surface Compression) โดยประมาณ 3,500 – 7,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ซึ่งกระจกประเภทนี้จะใช้เวลาการเป่าลมให้เย็นตัวนาน ทำให้ผิวกระจกและเนื้อกระจกภายในนั้นเย็นตัวลงอย่างสม่ำเสมอ ไม่เกิดขึ้น Compression และ Tension ทำให้กระจกเมื่อแตกยังคงมีลักษณะแหลมคมหรือที่เรียกว่า ปากฉลาม แม้จะยังไม่ปลอดภัยเมื่อกระจกแตก แต่กระจกประเภทนี้ก็ยังมีความแข็งแรงมากกว่า กระจกโฟลททั่วไป 2-3 เท่า



ภาพที่ ก. 5 กระจกฮีทสเตรงค์เทน (Heat Strengthened glass) [19]

2. กระจกเทมเปอร์ Tempered glass ซึ่งมีค่าความแข็งที่ผิว (Surface Compression) มากกว่า 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ซึ่งกระจกประเภทนี้จะใช้เวลาสั้นในการเป่าลมให้เย็นตัว ทำให้เกิดขึ้น Compression และ Tension อย่างชัดเจน เมื่อกระจกแตกจะมีลักษณะเป็นชิ้นเล็ก ๆ แม้จะยังไม่ปลอดภัยเมื่อกระจกแตก เพราะเศษกระจกเหล่านี้ยังคงมีความคมอยู่ แม้จะไม่สามารถทำอันตรายถึงแก่ชีวิตต่อผู้ใช้งานได้ แต่ก็สามารถสร้างบาดแผลรุนแรงได้เช่นกันหากนำไปใช้อย่างผิดวิธี ซึ่งกระจกประเภทนี้ก็ยังมีค่าความแข็งแรงมากกว่ากระจกโฟลททั่วไป 3-5 เท่า ทำให้กระจกเทมเปอร์ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางมากกว่ากระจกฮีทสเตรงค์เทนสำหรับการใช้งานประเภทการติดตั้งแบบไม่ใสในกรอบบาน เช่น กระจกประตูบานเปลือยที่พบเห็นได้ทั่วไป



ภาพที่ ก. 6 กระจกเทมเปอร์ (Tempered glass) [19]

แต่กระจกเทมเปอร์เองนั้นก็ยังมีข้อเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้อยู่ ซึ่งเกิดจากสารประกอบที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อกระจกตั้งแต่กระบวนการผลิตกระจกโฟลท คือ นิเกิลซัลไฟด์ (Nickel Sulfide) ที่ไม่สามารถตรวจพบได้ในกระบวนการผลิตกระจกโฟลทเนื่องจากมีขนาดเล็กมาก โดยปรกติแล้วนิเกิลซัลไฟด์ที่ฝังตัวอยู่ในเนื้อกระจกนั้นไม่มีผลกับการที่จะทำให้กระจกแตก แม้ว่าจะมีการขยายใหญ่ขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 2-3 ปีหลังการผลิต แต่ถ้าหากว่านิเกิลซัลไฟด์นี้ฝังตัวอยู่ในชั้น Tension ของกระจกเทมเปอร์แล้วนั้น นิเกิลซัลไฟด์จะขยายตัวและรบกวนสมดุลของชั้น Compression และ Tension จนกระทั่งกระจกเกิดแตกเองได้แม้จะไม่ได้รับแรงกระทำใดๆ จากภายนอกเลยก็ตาม ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า Spontaneous Breakage of Glass

มีการพัฒนากระบวนการเพิ่มอายุหรือเร่งการขยายตัวของนิเกิลซัลไฟด์ให้เร็วขึ้นหรือที่เรียกว่ากระบวนการฮีทโซค (Heat Soak testing process) คือ กระบวนการที่นำกระจกเทมเปอร์เข้าไปอบในเตา ด้วยอุณหภูมิประมาณ 290 องศาเซลเซียส เพื่อให้นิเกิลซัลไฟด์ขยายตัวให้เต็มที่ ด้วยระยะเวลาประมาณ 6-8 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมาตรฐานในการทดสอบ หากกระจกไม่แตกเนื่องจากการขยายตัวของนิเกิลซัลไฟด์แล้วก็สามารถสร้างความมั่นใจได้ส่วนหนึ่ง ว่าอัตราเสี่ยงที่กระจกจะแตกด้วยการขยายตัวของนิเกิลซัลไฟด์นั้นจะน้อย แต่ก็ยังไม่สามารถมั่นใจได้แน่นอนว่ากระจกจะไม่แตกด้วยการขยายตัวนี้ เนื่องจากไม่มีใครรู้ว่านิเกิลซัลไฟด์แต่ละจุดที่ปนเปื้อนมานั้นจะมีขยายตัวได้มากเท่าใด

ข) กระบวนการตัดโค้ง

คือ กระบวนการที่นำกระจกแผ่นเรียบไปวางไว้บนแบบ (Mold) ที่โค้ง และให้ความร้อนด้วยเตาอบ เพื่อให้กระจกอ่อนตัวและแนบไปกับแบบเพื่อให้เกิดเป็นกระจกโค้งเมื่อเย็นตัว ซึ่งเราพบเห็นการนำกระจกโค้งไปใช้มากมายเช่นกระจกรถยนต์ เป็นต้น



ภาพที่ ก. 7 เครื่องจักรสำหรับกระบวนการตัดโค้งกระจก (Bending Glass Process) [20]

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค) กระบวนการแต่งผิวกระจก

คือกระบวนการที่นำกระจกโพลมาปรับแต่งให้เกิดลวดลายหรือพื้นผิวที่ต้องการ เช่น กระบวนการพ่นทรายลงบนผิวกระจก (Sandblast) การกัดผิวกระจกด้วยสารเคมี (Acid Glass) หรือใช้เครื่องมือกัดเซาะกระจก ทำให้พื้นผิวกระจกมีลวดลายหรือเกิดเป็นผิวฝ้าที่สามารถลดทอนแสงสว่างที่ผ่านกระจกได้ แต่วิธีการเช่นนี้เป็นการลดความแข็งแรงของกระจกลงด้วย จึงควรที่จะต้องระวังในการใช้งานด้วยเช่นกัน



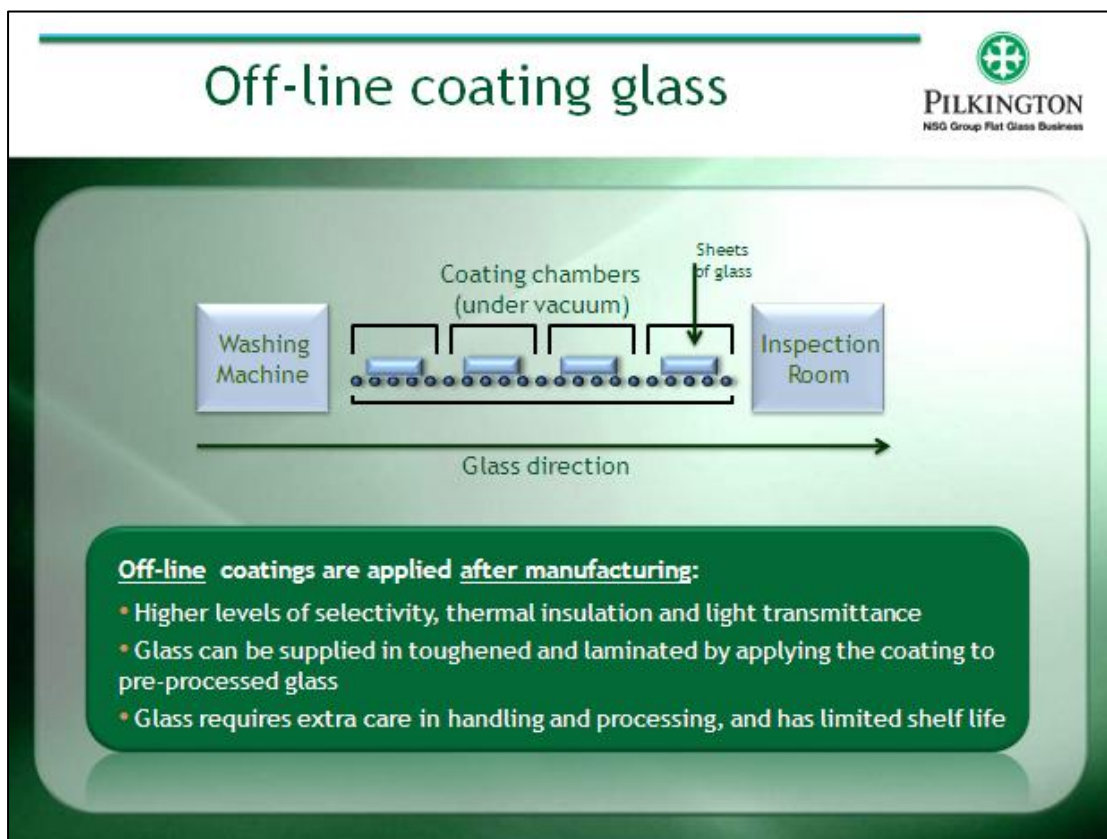
ภาพที่ ก. 8 กระบวนการพ่นทรายกระจก (Glass Sandblasting Process) [21]

ก.2.2.2 การแปรรูปขั้นที่สอง (Secondary Process) คือการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของกระจกโดยที่มีการใช้สารเคมี หรือใช้วัสดุอื่นๆ เพิ่มเข้าไปในกระจก ซึ่งมีหลายวิธีดังนี้

ก) กระบวนการเคลือบผิวหลังขั้นตอนการผลิตกระจกโฟลท

หรือที่เราเรียกว่า Off-Line coating process ซึ่งเป็นการพ่นอนุภาคของโลหะเคลือบไปบนผิวกระจกโฟลทที่ผลิตออกมาแล้ว ใช้ไฟฟ้าก่อให้เกิดระบบสุญญากาศเพื่อดึงอนุภาคโลหะเข้าไปเคลือบที่ผิวหน้าของกระจกไว้เหมือนฟิล์มบางๆ เราเรียกระบบการเคลือบผิวลักษณะนี้ว่า Soft-coating ซึ่งกระบวนการเช่นนี้สามารถทำได้ง่าย สะดวก สามารถเลือกกระจกมาเคลือบผิวได้ตามต้องการ และได้ค่าคุณสมบัติต่างๆ ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ Hard-Coated แต่กระจก Soft-coated เองก็มีข้อเสีย คือ สารที่เคลือบผิวนั้นสามารถหลุดลอกออกได้ง่าย จึงเป็นการยากที่จะนำกระจก Soft-Coated นี้ไปผ่านกระบวนการแปรรูปบางประเภท เช่น การอบแข็ง และตัดโค้ง อีกทั้งกระจกที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวแบบ Soft-Coated นั้น ต้องถูกนำไปใช้งานทันที เพราะมีช่วงระยะเวลาที่สามารถเก็บไว้ในคลังสินค้าได้น้อย (Shelf Lift time) เนื่องจากการเคลือบผิวลักษณะนี้จะไม่ทนต่อสภาพความชื้นที่สามารถแทรกซึมเข้าไปทำลายชั้นของสารเคลือบผิวต่างๆ นี้ได้

ทางผู้ผลิตหลายรายพยายามที่จะพัฒนาการเคลือบผิวกระจกให้ดีขึ้น ซึ่งเกิดเป็นการเคลือบผิวที่เรียกว่า Semi-Hard coated ซึ่งสามารถนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปได้บ้าง และได้คุณสมบัติของกระจกที่ดีขึ้นจากการเคลือบผิวเหมือน Soft-Coated แต่สารเคลือบผิวนี้อาจยังมีโอกาสหลุดลอกได้อยู่ ไม่ดีแน่นเหมือนกับกระจกที่ผ่านกระบวนการ Hard-Coated ซึ่งดีแน่นเป็นเนื้อเดียวกับกระจก



ภาพที่ ก. 9 กระบวนการเคลือบผิวหลังขั้นตอนการผลิตกระจกโฟลท Off-Line Process [22]

ข) กระบวนการพิมพ์สีบนผิวกระจก (Printing Glass)

ซึ่งกระบวนการนี้ทำให้เราได้กระจกที่มีลวดลายต่างๆ มากมาย อีกทั้งยังมีสีสันทันที่หลากหลย และเรายังสามารถควบคุมปริมาณแสงที่จะผ่านกระจกได้ด้วยการกำหนดลวดลายต่างๆ ให้มีพื้นที่ที่ทึบแสงและโปร่งแสงตามที่เราต้องการ ซึ่งกระบวนการทำสีบนผิวกระจกนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การวาดภาพลงไปบนผิวกระจก การพิมพ์ภาพโดยใช้แบบพิมพ์ หรือ บล็อกสกรีน หรือแม้กระทั่งการส่งพิมพ์ภาพจากรูปร่างก็ทำได้เช่นกัน โดยสีที่ใช้จะเป็นสีเซรามิกที่ทนความร้อนได้ดี เนื่องจากเมื่อทำการลงสีด้วยกระบวนการต่างๆ ข้างต้นแล้ว จะต้องนำกระจกแผ่นนี้ไปผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อให้สีซึมลึกเข้าไปในเนื้อกระจก ดีแน่นและไม่หลุดลอกหรือซีดจางไป ทำ

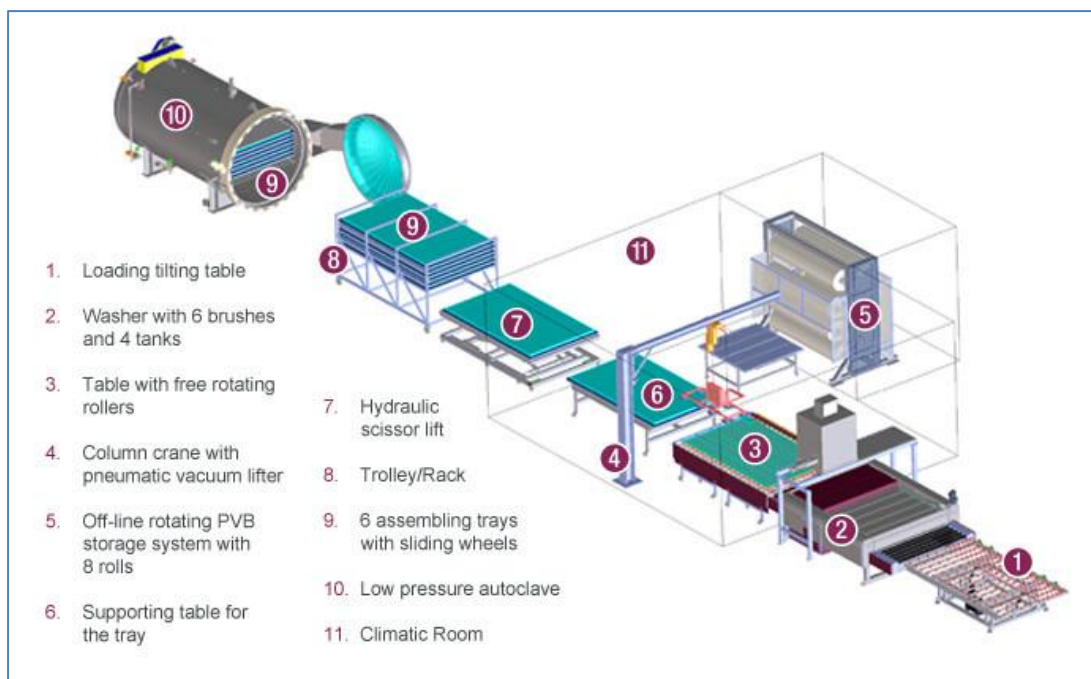
ให้กระจกที่พิมพ์สีบนผิวกระจกต้องเป็นกระจกอบแข็ง Heat-strengthened หรือ Tempered glass ด้วยเช่นกัน



ภาพที่ ก. 10 กระบวนการพิมพ์สีบนผิวกระจก (Printing Glass) [23]

ค) กระบวนการลามิเนต (Laminated Process)

เป็นกระบวนการที่เกิดจากการนำกระจกตั้งแต่สองแผ่นขึ้นไปมาประกบติดกันด้วยฟิล์มบางๆ ด้วยกระบวนการอบด้วยความร้อน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากขึ้น เพราะเมื่อเวลากระจกแตกเศษกระจกจะถูกยึดติดอยู่กับฟิล์มนี้ ทำให้ไม่หลุดร่วงทำอันตรายกับผู้ใช้งาน อีกทั้งการลามิเนตยังสามารถรวมคุณสมบัติของกระจกหลายชนิดเข้าด้วยกันได้ เช่น สามารถนำกระจกสีมาประกบคู่กับกระจกเงา ทำให้เกิดกระจกที่มีลักษณะแปลกตาได้



ภาพที่ ก. 11 ขั้นตอนการผลิตกระจกลามิเนต (Laminated Glass production process) [24]

ในส่วนของฟิล์ม (Interlayer) ที่ใช้ในการผลิตกระจกลามิเนตในปัจจุบันเองก็มีหลายชนิด เช่น

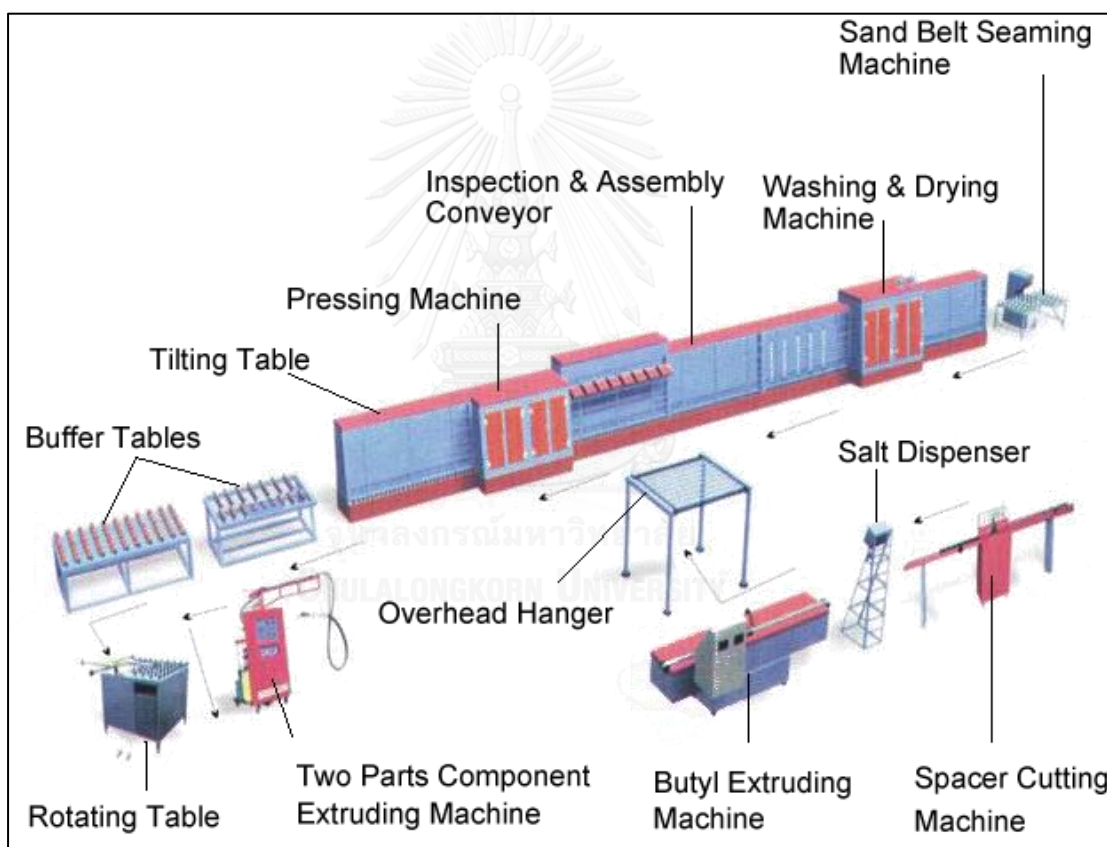
- ฟิล์ม PVB (Poly-Vinyl Butyral) ซึ่งมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย มีหลายสี ทำให้สามารถผสมฟิล์มหลายชั้นให้ออกมาเป็นสีใหม่ๆได้
- ฟิล์ม EVA (Ethylene Vinyl Acetate) เหมาะกับการลามิเนตกระจกบางประเภท เช่น กระจกโซล่าเซลล์ กระจกเปิดปิดได้
- ฟิล์ม INP (Ionoplast) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่มีความแข็งของชั้นฟิล์มมากกว่า ป้องกันความชื้น และให้แรงยึดเกาะกับกระจกได้มากกว่า

ด้วยเทคโนโลยีของการผลิตฟิล์มที่มีมากขึ้นในปัจจุบัน อย่างเช่น ฟิล์ม INP นั้น ทำให้มีกระจกที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยและกว้างขวางมากขึ้น สามารถนำกระจกมาใช้ทำพื้นหรือโครงสร้างรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย มีความปลอดภัยสูงแม้ในกรณีที่กระจกแตกไปแล้ว แต่ตัวฟิล์ม INP นั้นยังคงสามารถรับน้ำหนักที่กระทำได้อยู่ ไม่มีเศษกระจกหลุดร่วง สร้างความเสียหายให้กับผู้ใช้งานได้

บางครั้งเราสามารถใส่วัสดุที่มีความบางอื่นๆ เข้าไปในชั้นระหว่างกระจกได้อีกด้วย ยกตัวอย่าง เช่น กระจาดาช ผ้า หรือฟิล์มชนิดพิเศษที่สามารถควบคุมด้วยไฟฟ้าให้ใส หรือขุ่นได้ ทั้งนี้ก็เพื่อการตกแต่งหรือสร้างความสวยงาม และเพิ่มประโยชน์ใช้สอยให้กับกระจกลามิเนตอีกทางหนึ่ง นอกเหนือจากเรื่องความปลอดภัย และคุณสมบัติที่เด่นอีกข้อหนึ่งของกระจกลามิเนต คือ ชั้นฟิล์มนี้สามารถป้องกันรังสียูวีได้กว่า 99% เลยทีเดียว ซึ่งหากนำมาใช้งานกับอาคารแล้ว จะช่วยป้องกันรังสียูวีที่จะเข้ามาภายในอาคารได้เป็นอย่างดี

ง) กระบวนการอินซูลเทท (Insulated)

หรือการเพิ่มจำนวนชั้นของกระจกโดยให้มีช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นกระจก ซึ่งสามารถผลิตได้โดยการนำกระจกตั้งแต่สองแผ่นขึ้นไปมาประกอบเข้าด้วยกันโดยคั่นด้วยแท่งอลูมิเนียมหรือที่เรียกว่าสเปซเซอร์ (Spacer) ที่ภายในบรรจุสารดูดความชื้นไว้ และใช้ Sealant เช่น ซิลิโคน เป็นเหมือนกาวที่ช่วยยึดกระจกให้ติดกับ Spacer ไว้ ทำให้เกิดช่องว่างอากาศระหว่างกระจกชั้น ซึ่งเราสามารถใส่อากาศแห้งต่างๆไปหรือใส่ก๊าซเฉื่อยที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เข้าไปได้ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการป้องกันความร้อน หรือเพิ่มความเป็นฉนวนให้มากขึ้นได้ซึ่งเป็นที่มาของชื่อที่เรียกว่ากระจกฉนวน อีกทั้งเสียงก็สามารถทะลุผ่านกระจกชนิดนี้ได้น้อยเนื่องจากมีช่องว่างอากาศนั่นเอง



ภาพที่ ก. 12 กระบวนการอินซูลเทท (Insulated glass production process) [25]

จ) กระบวนการชุบแข็งด้วยสารเคมี

เป็นกระบวนการที่เรียกว่า Chemical Tempered เป็นการนำกระจกที่ผ่านการตัด เจียร เจาะ ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว นำไปแช่ในสารเคมีเป็นเวลา 6- 8 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความต้องการความแข็งแรง เพื่อให้สารเคมีเหล่านี้แทรกซึมเข้าไปบนรูพรุนที่ผิวกระจกเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ซึ่งกระจกประเภทนี้

จะมีความแข็งแรงมากกว่ากระจกโพลททั่วไปถึงประมาณ 8-10 เท่า ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในกระจกแผ่นเล็กๆ บางๆ ที่ไม่สามารถอบแข็งด้วยกระบวนการ Heat Treated ได้ แต่ภายหลังอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ต้องการกระจกที่แข็งแรงเป็นพิเศษก็มีการนำกระจกประเภทนี้ไปใช้งานเช่นกัน

ก.3 ประเภทของกระจกที่ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

จากวิธีการแปรรูปกระจกที่กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น เราสามารถใช้กระบวนการต่างๆ นี้กับกระจกแต่ละชนิด อีกทั้งสามารถรวมวิธีการแปรรูปหลายๆ แบบ กับกระจกหลายๆ ชนิดเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างเป็นกระจกที่มีความหลากหลายได้มากมาย ซึ่งเราสามารถแบ่งกระจกเป็นประเภทต่างๆ เพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้นได้ ดังนี้

1 กระจกโพลท

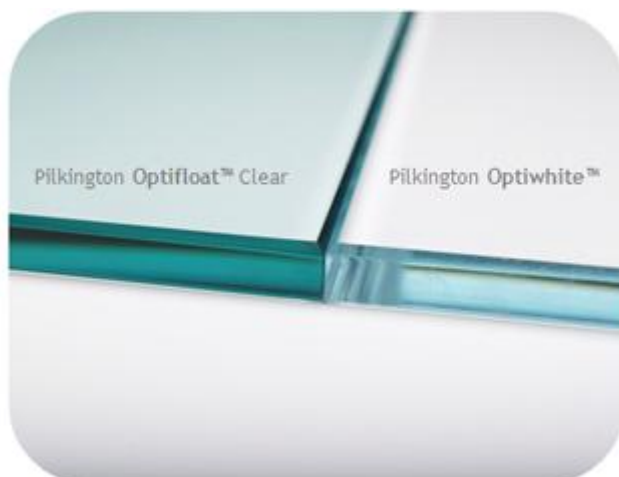
คือ กระจกที่ผ่านกระบวนการผลิตกระจกออกมาโดยตรง ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพอื่นๆ ทั้งระหว่างการผลิตหรือหลังการผลิต ซึ่งเป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าคือกระจกธรรมดา ลักษณะการแตกจะเป็นปากฉลาม แผลมคมและชิ้นใหญ่ สามารถทำอันตรายร้ายแรงได้ ความหนาที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปคือ 3 มม., 4 มม., 6 มม., 8 มม., 10 มม., 12 มม., 15 มม. และ 19 มม. สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่

ก) กระจกใส หรือที่เราเรียกว่า Floated glass

หรือบ้างก็เรียก Annealed glass เป็นกระจกที่มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ และเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ประกอบอยู่ในอุปกรณ์อื่นๆ เป็นกระจกที่ยอมให้แสงผ่านได้มากและไม่ดูดซับความร้อนไว้ที่ผิวกระจก ทำให้ความร้อนจากแสงแดดผ่านเข้ามาภายในอาคารได้มากเช่นกัน ถือเป็นกระจกวัตถุดิบที่จะนำไปแปรรูปต่อไป

ข) กระจกใสพิเศษ หรือที่เราเรียกว่า Low Iron Density glass (LID)

คือกระจกที่ใสกว่ากระจกโพลททั่วไปเนื่องจากในขั้นตอนการผลิตจะพยายามลดสารประกอบโลหะที่ทำให้เกิดสีอมเขียวในกระจกทั่วไป ทำให้กระจกที่ได้มีความใสอย่างมาก แม้จะมองที่ขอบกระจกก็ยังคงมีความใสมากกว่ากระจกโพลททั่วไป จึงเป็นที่นิยมนำไปใช้สำหรับกระจกตู้จัดแสดงสินค้าต่างๆ หรือเป็นกระจกสำหรับงานศิลปะต่างๆ เพื่อให้สามารถมองเห็นสิ่งที่ต้องการแสดงได้อย่างชัดเจน เมื่อกระจกมีความใสมากก็หมายความว่าความร้อนที่มากับแสงแดดจะเข้ามาได้มากเช่นกัน กระจกใสพิเศษจึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้สำหรับงานอาคาร



ภาพที่ ก. 13 กระจกใสพิเศษ (Low Iron Density Glass) [26]

ค) กระจกสี หรือที่เราเรียกว่า Tinted glass

คือ กระจกที่มีการเจือปนสารประกอบโลหะเข้าไปในกระบวนการหลอมกระจก ทำให้น้ำแก้วที่ได้มีสีที่แปลกออกไปตามแต่ชนิดของสารประกอบและสัดส่วนที่เติมลงไป สีที่ได้จะมีลักษณะโปร่งแสง มีสีที่จำหน่ายทั่วไปได้แก่ สีเขียว และสีชา ส่วนสีอื่นๆ เช่น สีฟ้า สีbronซ์ นั้นมีจำหน่ายอยู่น้อย เนื่องจากไม่มีผลผลิตในประเทศเพราะความต้องการใช้ยังมีอยู่น้อยนั่นเอง ถ้าหากต้องการกระจกที่มีสีอื่นๆ นั้น เราสามารถใช้กระจกลามิเนตทดแทนได้เนื่องจากมีสีฟิล์มให้เลือกหลากหลายกว่า และเนื่องจากที่กระจกมีสีทำให้ค่าการดูดซับความร้อนนั้นมีมากกว่ากระจกใสทั่วไป กระจกจะร้อนแต่ก็ยอมให้แสงผ่านเข้าภายในอาคารน้อยกว่า ซึ่งเป็นการช่วยลดความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคารได้ระดับหนึ่ง แต่การที่จะนำไปใช้งานควรวิเคราะห์ถึงปริมาณแสงที่ต้องการใช้ภายในอาคารด้วยเช่นกัน



ภาพที่ ก. 14 กระจกสี (Tinted glass) [27]

2 กระจกอบความร้อน (Heat Treated)

คือ กระจกที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการอบและเป่าให้เย็นตัวด้วยลมทั้งนี้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้มากขึ้น สามารถรับแรงกระทำหรือแรงลมได้มากขึ้น สามารถรับความเค้นที่เกิดจากอุณหภูมิได้มากขึ้น อีกทั้งยังทนต่อความต่างของอุณหภูมิบนผิวกระจกได้มากขึ้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ กระจกเทมเปอร์ และกระจกฮีทสเตรงค์เทน

ก) กระจกเทมเปอร์ Tempered glass

คือ กระจกโพลที่ผ่านขั้นตอนการอบและเป่าเย็นให้กระจกเย็นตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ผิวกระจกเกิดชั้นแรงอัด แต่ภายในเกิดชั้นแรงดึงที่สมดุลกัน ทำให้ผิวนอกของกระจกแข็งขึ้นแต่ยังคงสภาพอยู่ได้ มีความแข็งแรงและทนต่อแรงบิดงอได้มากกว่ากระจกธรรมดา อีกทั้งยังทนต่อแรงกระแทก (Impact load) แต่มีข้อเสียที่ไม่ทนต่อแรงกระทำที่เป็นจุดเล็กๆ (Point load) และภายหลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว ไม่สามารถตัดแต่งกระจกได้ เวลากระจกแตกจะมีลักษณะแตกเป็นเม็ดเล็กทั่วทั้งแผ่น ทำให้ลดความอันตรายต่อผู้ใช้งานได้บ้าง แต่บางกรณีหากเศษกระจกเม็ดเล็กๆ เหล่านี้ตกจากที่สูง ก็ยังคงมีความอันตรายอยู่ เนื่องจากขอบของเศษกระจกเหล่านี้ยังมีความคมอยู่



ภาพที่ ก. 15 ลักษณะการแตกของกระจกเทมเปอร์ [28]

ข) กระจกฮีตสเตรงค์เทน Heat Strengthened glass

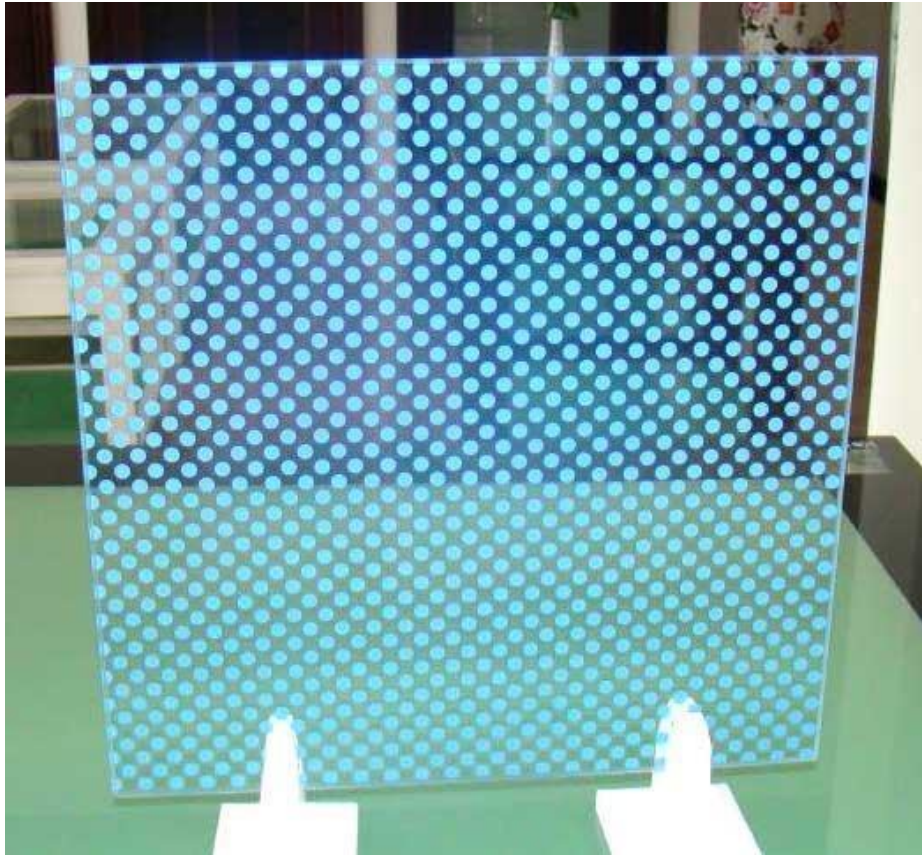
คือ กระจกโพลที่ผ่านขั้นตอนการอบและเป่าเย็นให้กระจกเย็นตัวลงช้ากว่ากระจกเทมเปอร์ ทำให้กระจกฮีตสเตรงค์เทนนั้น มีความแข็งแรงน้อยกว่ากระจกเทมเปอร์ และลักษณะการแตกจะเป็น ปากฉลามแหลมคมคล้ายกระจกธรรมดา แม้ว่าจะรับแรงกระแทกได้น้อยกว่ากระจกเทมเปอร์แต่ก็สามารถรับแรงกระจกเป็นจุดได้ดีกว่ากระจกเทมเปอร์ และกระจกฮีตสเตรงค์เทนนั้นมีข้อดีคือ จะไม่เกิดการแตกเองด้วยสารประกอบนิเกิลซัลไฟด์ เหมือนกับที่เกิดขึ้นได้ในกระจกเทมเปอร์ แต่ข้อเสียคือ ไม่สามารถทำการตัดเจาะกระจกใดๆได้หลังผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้ว เช่นเดียวกับกระจกเทมเปอร์

ค) กระจกพิมพ์ลาย

คือการทำลวดลายต่างๆ บนผิวกระจกด้วยสีเซรามิก หลังจากนั้นจะนำไปผ่านกระบวนการอบเทมเปอร์ หรืออบฮีตสเตรงค์เทนเพื่อให้สีแห้งและหลอมเหลวซึมเข้าไปในเนื้อกระจก ส่งผลให้สีเหล่านี้ติดทนและไม่หลุดลอก ซึ่งสามารถทำลวดลายต่างๆได้สองวิธีคือ

- กระจกพิมพ์ลายด้วยการใช้บล็อกสกรีน Silk screen printed glass คือ กระจกที่ผ่านขั้นตอนการเคลือบผิวด้วยสีเซรามิกผ่านกระบวนการพิมพ์ด้วยการรีดสีผ่านบล็อกสกรีนที่มีรูพรุนเป็นลวดลายต่างๆ เพื่อให้สีแทรกซึมผ่านรูเหล่านี้เกิดเป็นลวดลายบนผิวกระจก คล้ายกับการที่เราสกรีนภาพลงบนเสื้อ หลังจากนั้นจึงไปไปอบเพื่อให้สีซึมเข้าไปในเนื้อกระจกและติดแน่นไม่หลุดลอก เหมาะกับงานประเภทภาพกราฟิก 1-2 สี ซึ่งภาพที่เหมาะสมกับการพิมพ์ด้วยการใช้บล็อกสกรีนนั้นเป็นภาพลวดลายกราฟิกซ้ำๆ กัน เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้บล็อก1บล็อก กับภาพ 1 ภาพ หรืองานที่ทำซ้ำๆ จำนวนมาก กระจกจะมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกระจกเทมเปอร์หรือฮีตสเตรงค์เทน ขึ้นอยู่กับกระบวนการอบที่ต้องการ

- กระจกพิมพ์ลายด้วยการใช้เครื่องพิมพ์พ่นสีลงบนกระจก Digital printing glass คือ กระจกที่ผ่านขั้นตอนการเคลือบผิวด้วยสีเซรามิกผ่านกระบวนการพิมพ์ด้วยการพ่นสีจากหัวพ่นผสมกันจนเกิดเป็นสีต่างๆในแต่ละจุด รวมกันขึ้นมาจนเป็นภาพบนผิวกระจก คล้ายกับการที่เราพิมพ์ภาพจากเครื่องพิมพ์ Inkjet ลงบนกระดาษ หลังจากนั้นจึงไปไปอบเพื่อให้สีซึมเข้าไปในเนื้อกระจกและติดแน่นไม่หลุดลอก เหมาะกับงานประเภทภาพสีเหมือนจริง



ภาพที่ ก. 16 กระจกที่พิมพ์ลายโดยวิธีใช้บล็อกสกรีน [29]



ภาพที่ ก. 17 กระจกที่พิมพ์ลายโดยระบบดิจิทัล [30]

3 กระจกเคลือบผิว (Coated glass)

คือ กระจกที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการพ่นอนุภาคโลหะลงบนผิวกระจก เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการป้องกันความร้อน เหมาะสมที่จะนำไปใช้สำหรับงานสถาปัตยกรรมเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการเคลือบสองแบบ คือ

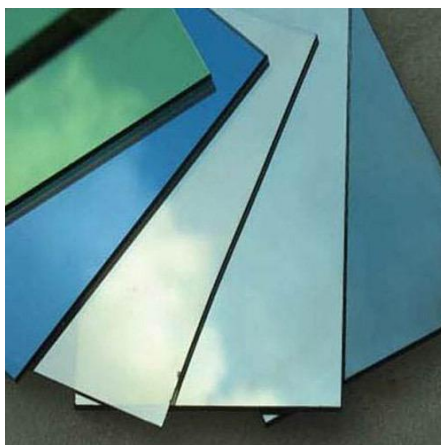
- การเคลือบผิวในขั้นตอนการผลิตกระจก หรือที่เรียกว่า On-Line Coating ด้วยการเคลือบผิวแบบ ซีวีดี (CVD – Chemical Vapor Deposition) คือ การพ่นออกไซด์ของโลหะลงบนผิวกระจกที่เพิ่งจะผ่านขั้นตอนการผลิตกระจกออกมา ซึ่งกระจกยังคงร้อนและอ่อนตัวอยู่ เมื่อออกไซด์ของโลหะถูกพ่นลงบนกระจก ทำให้ออกไซด์เหล่านี้แทรกซึมเข้าสู่เนื้อกระจกทำให้การเคลือบผิวด้วยวิธีนี้มีความคงทนต่อการหลุดลอกและรอยขีดข่วน สามารถนำไปแปรรูปได้หลายแบบ เราเรียกเคลือบผิวประเภทนี้ว่ากระจก Hard Coated

- การเคลือบผิวหลังขั้นตอนการผลิต หรือที่เรียกว่า Off-Line Coating ด้วยวิธีการเคลือบผิวแบบสุญญากาศ (Vacuum Deposition) เราเรียกเคลือบผิวประเภทนี้ว่ากระจก Soft Coated คือ การนำกระจกโฟลทที่ผลิตเสร็จแล้ว มาทำการเคลือบผิวโดยอาศัยการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้า ซึ่งการเคลือบผิวประเภทนี้จะไม่คงทนต่อการหลุดลอกและการขีดข่วน อีกทั้งยังมีข้อจำกัดที่จะต้องนำกระจกไปใช้งานหลังจากเคลือบแล้วภายในระยะเวลาจำกัด เนื่องจากความชื้นสะสมจะทำให้เคลือบผิวเสียหายได้ และกระจกที่เคลือบผิวประเภทนี้นั้นยังไม่สามารถนำไปแปรรูปด้วยกระบวนการเทมเปอร์หรือฮีทสเตรงค์เทนได้ หากต้องการเคลือบผิวกับกระจกเทมเปอร์หรือฮีทสเตรงค์เทนนั้น ต้องทำการแปรรูปก่อนทำการเคลือบผิว ซึ่งในความเป็นจริงจะค่อนข้างยุ่งยาก

ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการเคลือบผิวแบบ Off Line นั้นพัฒนาขึ้นจนสามารถนำกระจก Soft Coated บางชนิดไปแปรรูปได้ เรียกการเคลือบแบบ Semi Hard Coated แม้ว่าจะสามารถแปรรูปได้ แต่ความทนทานต่อรอยขีดข่วนหรือการหลุดลอกก็ยังคงเหมือนกระจก Soft Coated อยู่ดี แต่ในบางกรณีนั้นเราสามารถนำกระจก Semi Hard coated ไปแปรรูปต่อเป็นกระจกฉนวนและหันด้านที่เคลือบผิวนี้เข้าด้านในช่องว่างอากาศระหว่างกระจกเพื่อลดการหลุดลอกและเสียหายของการเคลือบผิวนี้ได้ ซึ่งการเคลือบผิวนี้สามารถแบ่งเป็นประเภทกระจกได้ดังนี้

ก) กระจกเคลือบผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์ Solar Reflective coated glass

คือกระจกที่ผ่านกระบวนการเคลือบโลหะเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการสะท้อนแสง เพื่อให้สามารถสะท้อนพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้มากขึ้น ซึ่งกระจกจะมีค่าการยอมให้แสงส่องผ่านกระจกต่ำลง เนื่องจากแสงบางส่วนสะท้อนกลับสู่ภายนอกอาคารนั่นเอง อีกทั้งหากมองจากภายนอกอาคารนั้นจะทึบมองเห็นภายในได้ยาก ument เป็นส่วนตัว แต่ก็ก็มีข้อเสียที่สำคัญคือ หากแสงที่สะท้อนออกไปนั้นมีปริมาณมาก ก็จะทำให้พื้นที่บริเวณใกล้เคียงได้รับอิทธิพลความร้อนที่เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้บางประเทศออกกฎหมายบังคับปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาด้วย



ภาพที่ ก. 18 กระจกเคลือบผิว [31]

ข) กระจกเคลือบผิวที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ Low emissivity glass or Low-E glass

คือ กระจกที่ผ่านกระบวนการเคลือบโลหะเพื่อลดคุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของกระจก ทำให้ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ ผ่านกระจกได้มากเกินไปเหมือนกระจกชนิดอื่น ทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้น้อยลง ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ทำกระจกฉนวนหรือผนังตู้แช่เย็นต่างๆ กระจก Low-E มีข้อดี คือ กระจกยังคงความใสอยู่มาก ทำให้แสงสามารถส่องผ่านเข้ามาภายในตัวอาคารได้มาก อีกทั้งยังมีค่าการสะท้อนแสงสู่ภายนอกน้อย ไม่เกิดมลภาวะกับพื้นที่บริเวณโดยรอบอาคารจากการสะท้อนแสงของกระจก Low-E

ค) กระจกเคลือบผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ Solar Reflective Low-E glass

คือกระจกที่ผ่านกระบวนการเคลือบโลหะเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการสะท้อนแสงและลดคุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของกระจก ทำให้สามารถสะท้อนพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้มากขึ้น และไม่สามารถถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ ผ่านกระจกได้มากเกินไป ทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้น้อยลง แต่ก็มีค่าการสะท้อนแสงที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้กับอาคารสูงที่ต้องการลดพลังงานที่เข้าสู่ภายในอาคารและค่าการสะท้อนแสงของกระจกนั้นมีผลกับบริเวณโดยรอบน้อย

ง) กระจกเคลือบผิวควบคุมรังสีอาทิตย์ ที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ Solar control Low-E

คือ กระจกที่ผ่านกระบวนการเคลือบโลหะเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการกรองแสงและลดคุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของกระจก ทำให้สามารถลดทอนค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้มากขึ้น และไม่สามารถถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ ผ่านกระจกได้มากเกินไป ทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้น้อยลง มีค่าการสะท้อนแสงต่ำ ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้กับอาคารที่ต้องการลดพลังงานที่เข้าสู่ภายในอาคารและ ไม่มีมลภาวะจากค่าการสะท้อนแสงของกระจกกับบริเวณโดยรอบ

จ) กระจกเงา Mirror glass

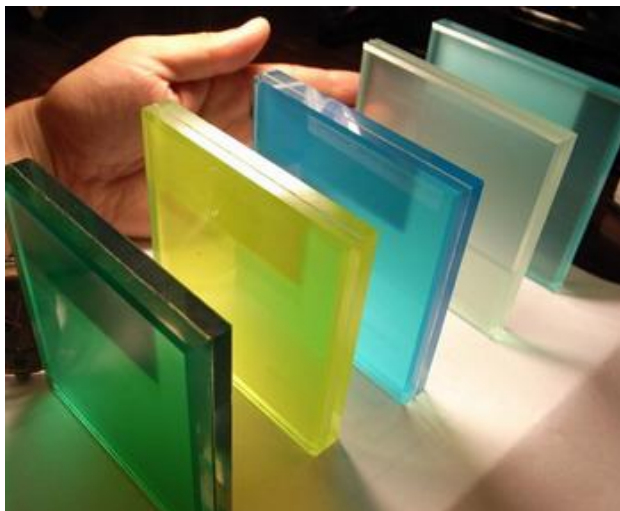
คือกระจกที่ผ่านการเคลือบผิวหลังกระบวนการผลิตกระจกโพลทชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ กระจกเงาหลังเขียว ซึ่งเป็นการผลิตด้วยเทคโนโลยีเก่า ที่มีการเคลือบผิว 4 ชั้น และอีกประเภทคือกระจกเงาหลังน้ำเงิน ซึ่งผลิตด้วยเทคโนโลยีใหม่ มีความคงทนกว่ากระจกเงาหลังเขียวมากกว่าถึง 10 เท่า เนื่องจากเคลือบผิวถึง 7 ชั้น กระจกเงาเหมาะสำหรับการใช้ส่อง หรือ สำหรับการตกแต่งภายในเพื่อเพิ่มพื้นที่ทางสายตา และลดความอึดอัดจากความคับแคบของห้องได้ แต่กระจกเงานั้นส่วนใหญ่เกิดจากการนำกระจกโพลทมาเคลือบผิวด้านหลัง ดังนั้นเมื่อกระจกแตกจึงมีลักษณะเหมือนกระจกโพลท คือ แหวมคมและเป็นปากฉลาม แต่เราสามารถเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งานได้โดยนำกระจกมาประกบกับกระจกทั่วไป หรือกระจกสีด้วยฟิล์มเพื่อช่วยยึดเศษกระจกที่แตกให้อยู่ติดกันไม่แตกกระจายทำอันตรายกับผู้ใช้งานได้และเนื่องจากกระจกเงามีค่าการสะท้อนแสงที่สูงมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับงานภายนอก

4 กระจกดัดแปลง (Processed glass)

คือ กระจกที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการเพิ่มวัสดุอื่นๆ มาประกอบปรุงแต่งเพิ่มเติมกับกระจก เพื่อให้เกิดกระจกชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานอื่นๆ ที่เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างกระจกดัดแปลงที่รู้จักกันโดยทั่วไป ได้แก่

ก) กระจกลามิเนต (Laminated glass)

คือ กระจกที่ผ่านกระบวนการนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปมาประกบติดกันด้วยชั้นฟิล์ม ซึ่งมีหลายประเภท เช่น ฟิล์ม PVB (Polyvinyl Butyral), EVA (Ethylene Vinyl Acetate) หรือ INP (Ionoplast) หรือบางครั้งเพิ่มวัสดุอื่นๆ เข้าไปอีกด้วย เช่น สารเคมี กระจดาษ ผ้า หรือฟิล์มชนิดพิเศษที่สามารถปรับเปลี่ยนสถานะจากขุ่นให้ใสได้ ซึ่งมีจุดประสงค์หลักเพื่อเพิ่มความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน เนื่องจากเมื่อกระจกแตก ชั้นฟิล์มนี้จะช่วยยึดเศษกระจกให้ติดกัน ไม่หลุดร่วงออกมาทำอันตรายกับผู้ใช้งาน เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานกับพื้นที่ที่ต้องการความปลอดภัยเช่นกระจกสำหรับช่องแสงเหนือศีรษะ พื้นกระจก อาคารสูง ช่องมองสรวายน้ำ หรือตู้ปลาขนาดใหญ่ ซึ่งจากส่วนผสมของกระจกและฟิล์มที่เหมาะสมนั้น สามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ได้หลากหลาย เช่น



ภาพที่ ก. 19 กระจกลามิเนต (Laminated glass) [32]

- กระจกลามิเนตสี (Tinted Laminated glass) เกิดจากการใช้ฟิล์มที่มีสีในการผลิต
- กระจกลามิเนตกันความร้อน (Low E Laminated glass) เกิดจากการใช้กระจกเคลือบผิวที่มีคุณสมบัติการสกัดกั้นความร้อนในการผลิต ประกอบกับกระจกใสธรรมดา
- กระจกลามิเนตกันกระสุน (Bullet Resistant Laminated glass) เกิดจากการใช้กระจกหลายๆ แผ่น แตกต่างความหนาทั้งของชั้นกระจกและชั้นฟิล์ม เพื่อลดแรงกระทำจากกระสุน



ภาพที่ ก. 20 กระจกลามิเนตกันกระสุน (Bullet Resistant Laminated glass) [33]

- กระจกลามิเนตกันภัย (Security Laminated glass) เกิดจากการใช้กระจกอบแข็งกับชั้นฟิล์มนิรภัย INP ผลิต เพื่อให้กระจกสามารถยังคงรับแรงกระทำได้อยู่ แม้ว่ากระจกจะแตกไปแล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กระจกปรับเปลี่ยนสถานะขุ่น-ใส (Switchable Laminated glass) เกิดจากการใช้ฟิล์มชนิดพิเศษที่สามารถปรับเปลี่ยนจากสถานะขุ่น เมื่อรับพลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนสถานะให้ใสขึ้นได้



ภาพที่ ก. 21 กระจกปรับเปลี่ยนสถานะขุ่น-ใส (Switchable Laminated glass) [34]

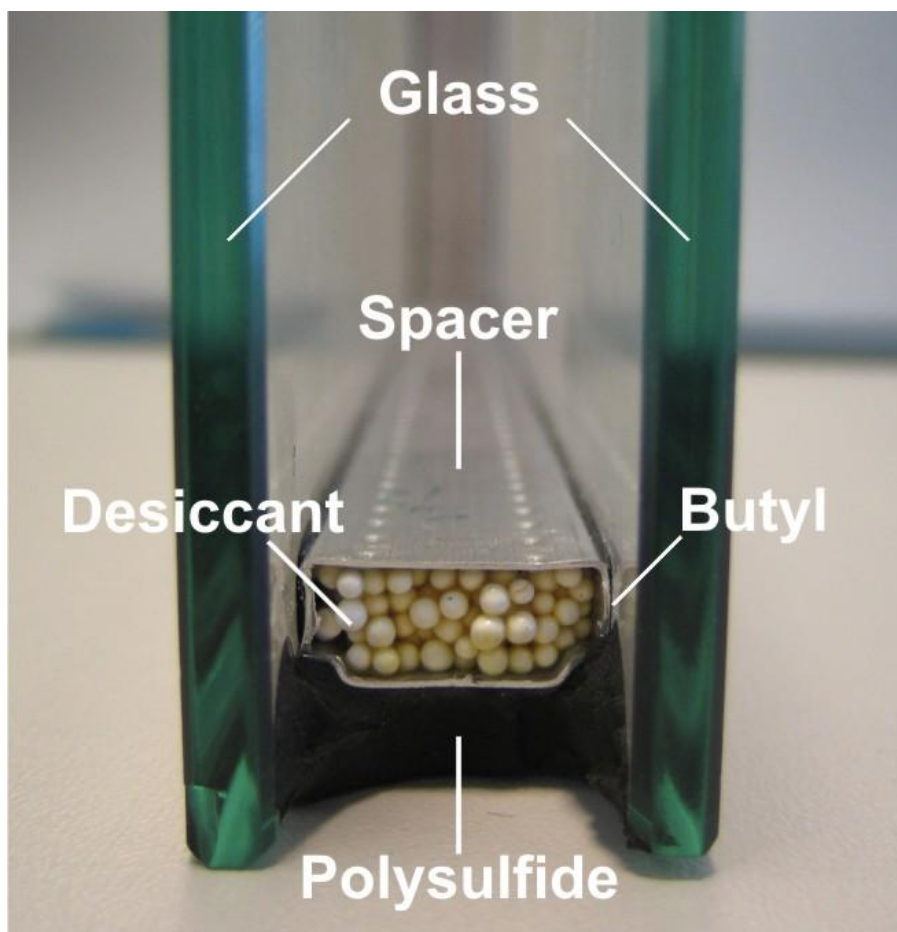
- กระจกกันไฟ (Fire Resistant Laminated glass) คือ กระจกที่ใช้สารเคมีเพื่อเป็นตัวช่วยยึดเกาะกระจก ซึ่งประกอบกันหลายๆ ชั้น ซึ่งเมื่อเกิดอัคคีภัย สารเคมีเหล่านี้จะรับความร้อนและเปลี่ยนสถานะเป็นโฟมเพื่อสกัดคลื่นเปลวไฟ คว้นไฟ และความร้อนได้ แม้กระจกจะแตกและหลุดร่วงไปแล้ว



ภาพที่ ก. 22 กระจกกันไฟ (Fire Resistant Laminated glass) [35]

ข) กระจกฉนวน (Insulated glass)

คือการนำกระจกตั้งแต่สองแผ่นขึ้นไปมาประกอบเข้าด้วยกันโดยมีลูมิเนียมโปรไฟล์แห้งที่ด้านในบรรจุด้วยสารดูดความชื้นใส่ไว้ ซึ่งทำหน้าที่ดูดความชื้นในช่องว่างของกระจกทั้งสองแผ่น เราจึงเรียกอากาศภายในช่องว่างนี้ว่าอากาศแห้ง (Dry air) กระจกฉนวนนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการสกัดกั้นความร้อนที่จะผ่านชั้นกระจกด้วยช่องว่างอากาศ เรายังสามารถที่จะใส่ก๊าซเฉื่อยเข้าไปแทนอากาศแห้งได้ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของการสกัดกั้นการพาความร้อนในช่องว่าง อากาศนี้ทำให้กระจกฉนวนดังกล่าวมีคุณสมบัติการสกัดกั้นความร้อนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกระจกฉนวนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันสามารถจำแนกได้ดังนี้



ภาพที่ ก. 23 กระจกฉนวน (Insulated glass) [36]

- กระจกฮีตมิเรอร์ (Heat mirror insulated glass) คือ กระจกฉนวนที่ประกอบขึ้นจากกระจกเคลือบผิวสะท้อนแสงอาทิตย์ ทำให้ช่องว่างภายในเกิดเป็นช่องว่างอากาศสะท้อนรังสี Reflective air space ซึ่งทำให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกชนิดนี้อาจมีค่าต่ำถึง $0.25 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2$ แต่เนื่องจากกระจกสะท้อนแสงอาทิตย์มีค่าการยอมให้แสงผ่านต่ำ ดังนั้นแสงสว่างที่ผ่านเข้ามาภายในห้องโดยรวมก็จะลดลงไปเช่นกัน

- กระจกฮีตสต็อป (Heat stop insulated glass) คือ กระจกฉนวนที่ประกอบจากกระจกเคลือบผิวสกัดกั้นการถ่ายเทความร้อน และภายในช่องว่างอากาศนั้นใส่ก๊าซเฉื่อยเพิ่มเติมเข้าไปด้วย ทำให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมต่ำใกล้เคียงกันกับกระจกฮีตมิเรอร์ แต่กระจกที่ได้จะใสกว่า เนื่องจากค่าการสะท้อนที่น้อยกว่านั่นเอง

- กระจกลดหยดน้ำ (Condensation control glass) คือ กระจกฉนวนที่ประกอบจากกระจกลดการแผ่รังสีความร้อนประเภทหนึ่งซึ่งสารเคลือบผิวมีความเหมาะสมที่จะลดการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งผ่านกระจกสู่อีกด้านหนึ่ง นิยมนำไปใช้สำหรับกระจกบานประตูตู้แช่เพื่อแสดงสินค้าที่อยู่ภายในตู้แช่เย็น ซึ่งกระจกประเภทนี้จะทำให้ความเย็นจากภายในตู้สามารถถ่ายเทสู่ภายนอกได้

น้อย เมื่ออากาศภายนอกที่มีความชื้นมากกว่ามากระทบผิวกระจกที่ไม่เย็นมากกว่าเท่าไรนัก จึงทำให้ไม่เกิดหยดน้ำบนผิวกระจก แต่ทั้งนี้กระจกประเภทนี้สามารถลดการเกิดหยดน้ำได้ในกรณีที่อุณหภูมิภายนอกและภายในไม่แตกต่างกันมากจนเกินไป

- กระจกผิวร้อน (Heated glass) คือ กระจกฉนวนประเภทหนึ่งประกอบจากกระจกเคลือบผิวที่สามารถยอมให้กระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านได้ มีความต้านทานกระแสไฟฟ้าในระดับหนึ่งคล้ายหลอดไส้ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน สารเคลือบผิวที่กระจกจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้นเมื่ออากาศภายนอกที่มีความชื้นมากกว่ามากระทบผิวกระจกจึงไม่เกิดหยดน้ำ ซึ่งกระจกประเภทนี้นิยมนำไปใช้กับห้องแช่แข็งที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอย่างมาก

- กระจกกันเสียง (Noise Control Glass) คือ กระจกฉนวนประเภทหนึ่งที่น่ากระจกลามิเนตโดยใช้ฟิล์มชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติการสกัดกั้นเสียงได้ดีมาประกอบเข้าด้วยกัน และใช้กระจกที่มีความหนาแตกต่างกันในแต่ละแผ่น เพื่อให้สามารถตัดช่วงของคลื่นเสียงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันได้มากขึ้น เพื่อให้เสียงที่จะส่งผ่านกระจกเข้ามามีปริมาณน้อยที่สุด

ค) กระจกเสริมลวด (Wire glass)

คือกระจกโพลทที่มีการใส่ลวดเข้าไป เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน เมื่อกระจกเสริมลวดแตก เศษกระจกส่วนใหญ่จะถูกเส้นลวดที่อยู่ภายในยึดเกาะเศษกระจกเหล่านั้นไว้ ไม่หลุดร่วงมาทำอันตรายกับผู้ใช้งานได้ ซึ่งกระจกเสริมลวดนี้มีทั้งแบบที่ผลิตเพื่อเพิ่มความปลอดภัยเมื่อแตก และมีอีกประเภทที่ใช้ลวดที่สามารถทนไฟจากอัคคีภัยได้ด้วย จึงมีการนำกระจกเสริมลวดไปใช้งานในส่วนของช่องประตูหนีไฟมากมาย แต่กระจกเสริมลวดทนไฟประเภทนี้ สามารถสกัดกั้นได้เฉพาะเปลวไฟและควันไฟเท่านั้น ไม่สามารถสกัดกั้นความร้อนที่ส่งผ่านได้



ภาพที่ ก. 24 กระจกแบบเสริมลวด (Wire glass) [37]

5 กระจกเพื่อการใช้งานพิเศษ คือ กระจกที่ผลิตขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เฉพาะเจาะจง หรือมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะบางประการ ดังตัวอย่างดังนี้

ก) กระจกตัดเงา (Anti-Reflective Glass)

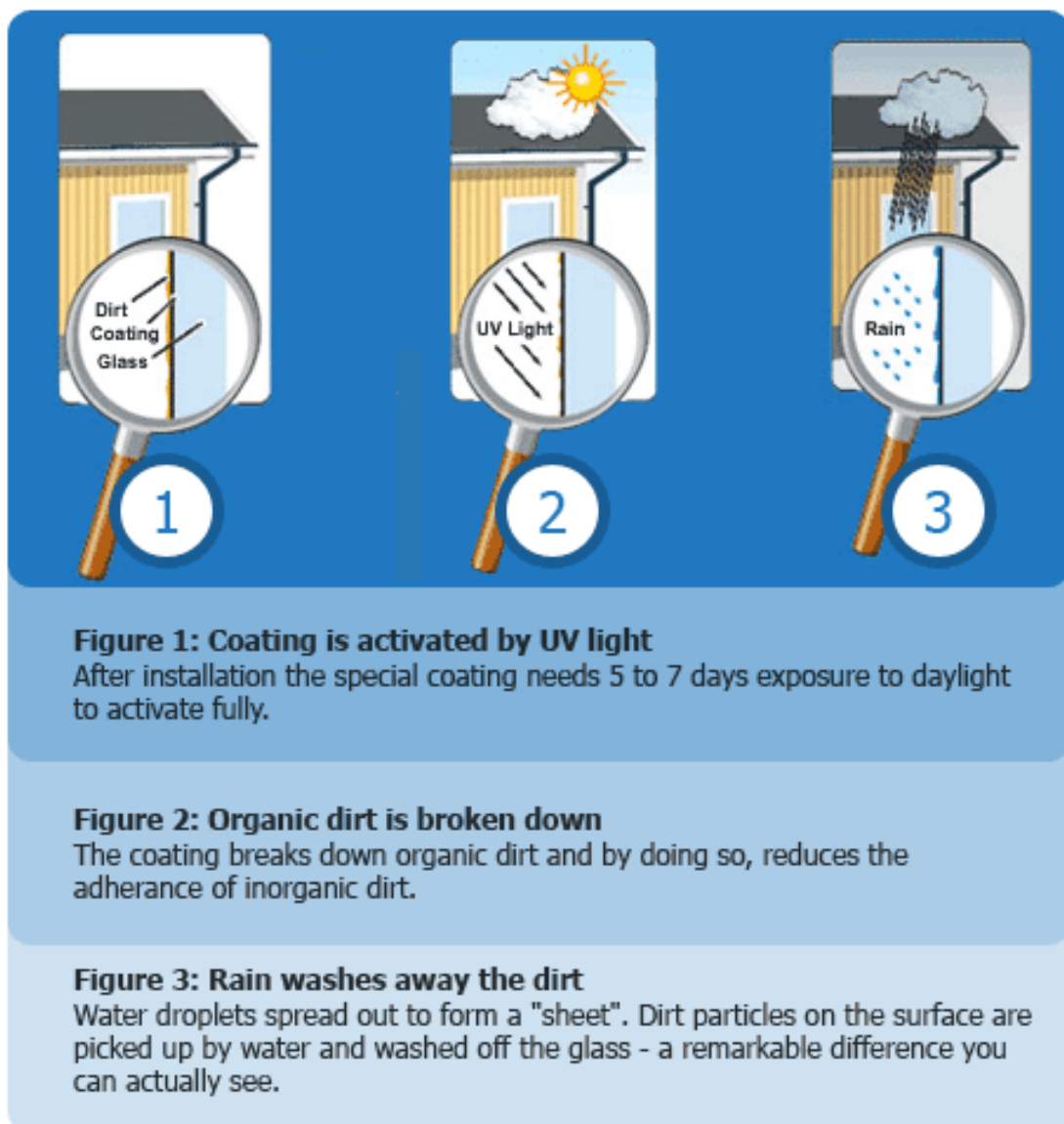
คือกระจกเคลือบผิวประเภทหนึ่งซึ่งลดการสะท้อนของกระจกให้มากกว่ากระจกทั่วไป ทำให้เราสามารถมองผ่านกระจกได้มากขึ้นเกือบไม่เห็นเงาสะท้อนบนผิวกระจกเสมือนหนึ่งไม่มีกระจกอยู่ ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นกระจกสำหรับตู้แสดงสินค้าต่างๆ เพื่อให้สามารถมองเห็นสินค้าได้ดีขึ้น



ภาพที่ ก. 25กระจกตัดเงา (Anti-Reflective Glass) [38]

ข) กระจกทำความสะอาดเอง (Self Cleaning Glass)

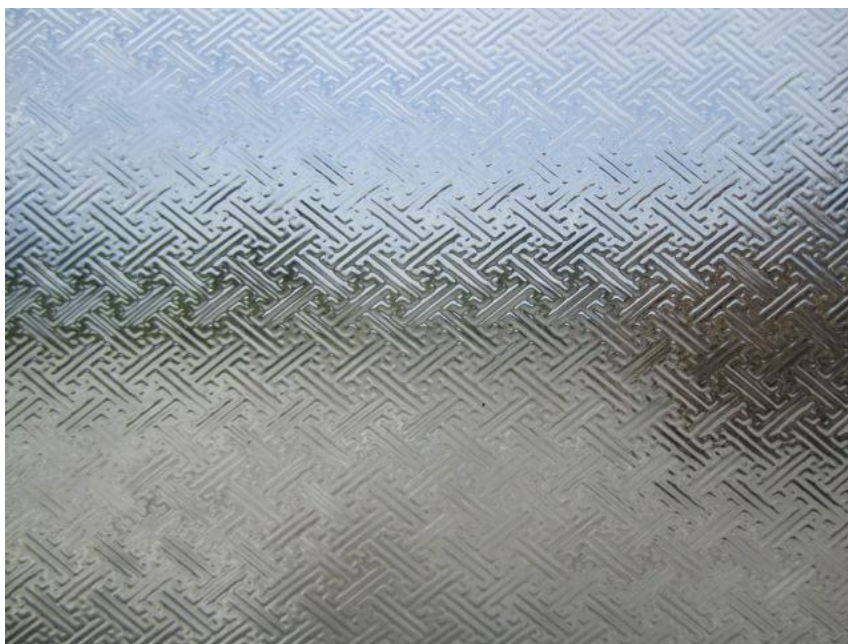
คือกระจกเคลือบผิวประเภทหนึ่ง ซึ่งใช้สาร Photovoltaic solar cell ที่อาศัยรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเป็นพลังงานจากแสงอาทิตย์ทั่วไป ไปลดอนุภาคของโมเลกุลของสิ่งสกปรกประเภทสารอินทรีย์ และสามารถใช้น้ำหรือใช้ฝนเพื่อไปชะล้างสิ่งสกปรกเหล่านั้นให้หลุดออกไปได้ง่าย



ภาพที่ ก. 26 ขั้นตอนการทำงานของกระจกทำความสะอาดเอง (Self Cleaning Glass) [39]

ค) กระจกลวดลาย (Pattern Glass)

คือกระจกโพลทที่เกิดจากกระบวนการรีดด้วยลูกกลิ้งซึ่งมีลวดลายอยู่ ทำให้กระจกที่ยังอ่อนตัวอยู่เกิดเป็นลวดลายจากลูกกลิ้งนั้นๆ ลวดลายต่างๆ เหล่านี้สามารถช่วยควบคุมปริมาณแสงที่ส่องผ่านมาได้ อีกทั้งยังเกิดความสวยงามแปลกตาอีกด้วย



ภาพที่ ก. 27 กระจกลวดลาย (Pattern Glass) [40]

ง) กระจกขึ้นรูปตัวยู (U-Shaped Glass)

คือกระจกที่ผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเป็นแท่งลักษณะคล้ายเหล็กทรงตัวยู และมีการทำลวดลายบนผิวกระจกด้วย ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งภายนอกและภายใน สามารถติดตั้งได้ง่ายและยังสามารถช่วยในเรื่องของการสกัดกั้นความร้อนได้มากหากติดตั้งโดยการใส่กระจก 2 ชั้นประกบเข้าด้วยกันเกิดเป็นช่องว่างอากาศภายใน และสามารถควบคุมปริมาณแสงที่ส่องผ่านเข้ามาด้วยรูปแบบลวดลายที่แตกต่างกันออกไปหลากหลายรูปแบบ



ภาพที่ ก. 28 กระจกชั้นรูปตัวยู (U-Shaped Glass) [41]

จ) กระจกมองด้านเดียว (Spy mirror glass)

คือกระจกลามิเนตที่ประกอบจากกระจกเคลือบผิวที่ค่าการสะท้อนของแสงทั้งสองด้านของกระจกนั้นมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้เมื่อเรามองจากด้านที่ยอมให้แสงผ่านน้อยหรือมีค่าการสะท้อนที่มาก เราจะเห็นกระจกในลักษณะคล้ายกระจกเงา แต่ในทางกลับกันอีกด้านนั้นเราจะมองเห็นเหมือนกระจกสี การติดตั้งนั้นด้านที่มีค่าการสะท้อนแสงน้อยนั้นควรมีแสงสว่างที่น้อยกว่าด้านที่มีค่าการสะท้อนแสงมาก เพื่อให้คุณสมบัติของกระจกแสดงออกได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ ก. 29 กระจกมองด้านเดียว (Spy mirror glass) [42]

ภาคผนวก ข.

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับค่าคุณสมบัติต่างๆของกระจก

สำหรับคุณสมบัติต่างๆ ของกระจกแต่ละชนิดนั้น เราสามารถจำแนกได้ทั้งสิ้น 12 คุณสมบัติ ซึ่งกระจกแต่ละชนิดนั้นก็จะมีค่าคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความต้องการนำกระจกนั้นๆไปใช้งาน ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ นั้นสามารถศึกษาได้ดังต่อไปนี้

1. Visible Light Transmission (VLT) : หน่วยเป็นร้อยละ (%) เป็นค่าอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) ที่สามารถส่องผ่านกระจกออกมาต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบบนกระจกทั้งหมดคุณสมบัติข้อนี้สามารถช่วยให้นักออกแบบเลือกกระจกที่สามารถช่วยให้ภายในอาคารนั้นมีปริมาณแสงที่เหมาะสมเพียงพอต่อการใช้งาน แต่การยอมให้แสงผ่านเข้ามาภายในอาคารได้มากย่อมหมายถึงการยอมให้ความร้อนเข้ามาได้เช่นกัน

2. Visible Light Reflection (out) : หน่วยเป็นร้อยละ (%) เป็นค่าอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สะท้อนออกจากกระจกสู่ภายนอกอาคารต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบบนกระจกทั้งหมด เมื่อแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบส่องมาจากด้านนอกอาคาร (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา) คุณสมบัติข้อนี้สามารถช่วยให้นักออกแบบเลือกกระจกที่มีค่าการสะท้อนที่เหมาะสมเนื่องจากหากใช้ค่าที่มากเกินไปนั้น จะเกิดมลภาวะต่ออาคารและบริเวณโดยรอบได้ และใน โดยทั่วไปกฎหมายจะกำหนดให้ค่าการสะท้อน ดังกล่าวไม่เกิน 30%

3. Visible Light Reflection (in) : หน่วยเป็นร้อยละ (%) เป็นค่าอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สะท้อนออกจากกระจกเข้าสู่ภายในอาคารต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบบนกระจกทั้งหมด เมื่อแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบส่องมาจากด้านในอาคาร (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา) คุณสมบัติข้อนี้สามารถช่วยให้นักออกแบบเลือกกระจกที่มีค่าการสะท้อนที่เหมาะสมเนื่องจากหากเราใช้ค่าการสะท้อนภายในมากเกินไป ผู้อยู่อาศัยภายในจะไม่สามารถมองเห็นทัศนียภาพแวดล้อมภายนอกได้ตึ้นัก เนื่องจากจะเกิดปรากฏการณ์เงาสะท้อนขึ้น อีกทั้งยังทำให้ผู้อยู่อาศัยเห็นภาพตัวเองอยู่ตลอดเวลาอีกด้วย

4. Solar Energy Transmission or Direct Energy Transmission: หน่วยเป็นร้อยละ (%) เป็นค่าอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ที่สามารถส่องผ่านกระจกออกมาโดยตรง โดยที่ความยาวคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบบนกระจกทั้งหมดคุณสมบัติข้อนี้สามารถช่วยให้นักออกแบบเข้าใจได้ว่ากระจกชนิดนั้นๆสามารถลดทอนพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้เท่าใด

5. Solar Energy Reflection : หน่วยเป็นร้อยละ (%) เป็นค่าอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สะท้อนออกมาต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบบนกระจกทั้งหมด (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา) คุณสมบัติข้อนี้สามารถช่วยให้นักออกแบบเข้าใจได้ว่ากระจกชนิดนั้นๆสามารถสะท้อนพลังงานจากแสงอาทิตย์ออกไปได้เท่าใด

6. Solar Energy Absorption : หน่วยเป็นร้อยละ (%) เป็นค่าอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะสมอยู่ภายในเนื้อกระจกทั้งหมดต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบบนกระจกทั้งหมด เมื่อแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบส่องมาจากด้านนอกอาคารคุณสมบัติข้อนี้สามารถช่วยให้นักออกแบบเข้าใจได้ว่ากระจกชนิดนั้นๆ จะดูดซับพลังงานได้เท่าใดซึ่งหากกระจกดูดซับพลังงานได้เยอะจะทำให้ผิวกระจกนั้นสะสมความร้อนไว้ด้วยและผิวกระจกจะร้อนขึ้น ในกรณีที่กระจกที่เลือกใช้นั้นเป็นกระจกโพลทซึ่งมีความทนต่อความต่างของอุณหภูมิบนผิวกระจกต่ำ สามารถทำให้กระจกแตกเองได้หรือที่เราเรียกว่า Thermal Break

7. Ultra-Violet Transmission: หน่วยเป็นร้อยละ (%) เป็นค่าอัตราส่วนของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ที่สามารถส่องผ่านกระจกออกมาต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบบนกระจกทั้งหมดคุณสมบัติข้อนี้สามารถช่วยให้นักออกแบบทราบว่ากระจกชนิดใดสามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ ซึ่งรังสีชนิดนี้สามารถทำให้สิ่งของต่างๆเสียหายหรือสีซีดจางได้ อีกทั้งสามารถก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของเซลล์ผิวของมนุษย์ได้เช่นกัน

8. Ke (Light Transmission/Shading Coefficient) : เป็นค่าอัตราส่วนของปริมาณแสงสว่างต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกเข้ามา อัตราส่วนนี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพหรือเป็นเหมือนกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพของกระจกที่ยอมให้แสงเข้ามามากแต่ความร้อนเข้ามาน้อย คุณสมบัติข้อนี้สามารถช่วยให้นักออกแบบทราบว่ากระจกชนิดนี้นั้นมีประสิทธิภาพสูงหรือต่ำอย่างไรเมื่อเทียบระหว่างปริมาณแสงสว่างและความร้อนที่ได้ กระจกที่ดีนั้นควรยอมให้แสงสว่างเข้าภายในอาคารมาก เพื่อลดการใช้พลังงานในการส่องสว่าง แต่ขณะเดียวกันควรยอมให้ความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารน้อย เพื่อลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

- หมายเหตุ :
- ASHRAE handbook 1997 : Fundamentals [43]
กำหนดอัตราดังกล่าวเท่ากับ LT/SC
 - ASHRAE handbook 2001 : Fundamentals. [44]
กำหนดอัตราส่วนดังกล่าว เรียกว่า LSG (Light-to-Solar-Gain Ratio) กับ Tv/SHGC โดย Tv หมายถึง Visible Transmittance และ SHGC หมายถึง Solar Heat Gain Coefficient

9. RHG (Relative heat Gain) : หน่วยเป็น $W/m^2 \cdot K$: เป็นค่าพลังงานความร้อนโดยรวมที่ได้มาจากแหล่งพลังงานความร้อนทั้งหมด ที่สามารถถ่ายเทเข้ามาในตัวอาคารได้ โดยแหล่งพลังงานความร้อนทั้งหมดนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 แหล่งดังนี้

9.1 พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากค่า Shading Coefficient

9.2 พลังงานความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากค่าอุณหภูมิต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากค่า U-Value_(summer) ซึ่งค่า RHG สามารถคำนวณได้จาก.

$$RHG = (630 \text{ W/m}^2 \times \text{Shading Coefficient}) + (8^\circ\text{C} \times \text{U-Value}_{(\text{summer})})$$

(สมการ ข.1) [4]

10. U-Value_(summer): หน่วยเป็น $W/m^2 \cdot K$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากค่าอุณหภูมิต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร โดยคำนวณตามสภาพอากาศในฤดูร้อนตามมาตรฐานของประเทศอเมริกาซึ่งมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิภายนอกอาคาร = 89°F (ประมาณ 32°C)
- อุณหภูมิภายในอาคาร = 75°F (ประมาณ 24°C)
- ความเร็วลม = 7.5 ไมล์ต่อชั่วโมง (ประมาณ 12 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ = $248.2 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2$ (ประมาณ 782 วัตต์ต่อตร. เมตร)

ซึ่งค่าที่ได้จากผู้ผลิตนั้นเป็นค่าที่ได้มาจากการคำนวณ หากต้องการค่าที่แท้จริงนั้นต่อทำการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง

11. Shading Coefficient (SC): เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก ปริมาณแสงอาทิตย์ที่สามารถผ่านเข้ามาด้านในตัวอาคารได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร กล่าวคือ Shading Coefficient หรือ SC เป็นค่าอัตราส่วนของค่า Solar Factor ของกระจกที่ต้องการวัด กับค่า Solar Factor ของกระจกโพลทใสหนา 3 มิลลิเมตร จึงทำให้ค่า SC นี้ไม่มีหน่วย โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Shading Coefficient} = \text{Solar Factor ของกระจกที่ต้องการวัด} / 0.87$$

(สมการ ข.2) [4]

หมายเหตุ : ค่า 0.87 นี้เป็นค่า Solar Factor ของกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร

12. Sound Transmission Class (STC): เป็นค่าอัตราการป้องกันเสียงซึ่งค่าดังกล่าวไม่มีหน่วย เป็นการเฉลี่ยรวมการป้องกันเสียงทุกคลื่นความถี่เข้าด้วยกัน วิธีการที่เหมาะสมเพื่อใช้ค่านี้แทน

การกันเสียงในทุกคลื่นความถี่ โดยค่ายิ่งมากหมายถึงประสิทธิภาพในการป้องกันเสียงได้มาก แต่ไม่ได้หมายความว่า จะป้องกันเสียงได้ดีในทุกความถี่เสียง ซึ่งหากต้องการที่จะป้องกันเสียงในย่านความถี่ใดเป็นพิเศษแล้ววั้นั้น ควรที่จะทำการทดสอบในย่านความถี่นั้นๆโดยตรง



ภาคผนวก ค.

อุณหภูมิอากาศประจำปี 2556 วัดที่สถานีดอนเมือง กรมอุตุนิยมวิทยา [9]

ตารางที่ ค. 1 อุณหภูมิอากาศเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2556 วัดที่สถานีดอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
1/1/2013	24.5	24.3	23.4	22.8	22.5	22.3	22.2	22.5	24.0	25.5	27.2	29.7	30.5	30.6	30.6	32.4	30.4	29.3	28.1	27.2	26.0	25.6	25.2	25.0	26.3
1/2/2013	24.5	24.4	24.4	23.5	23.1	22.9	22.6	23.1	24.9	27.3	30.6	32.2	32.7	34.0	34.6	34.0	33.3	31.7	30.3	29.0	26.7	26.0	24.7	25.9	27.8
1/3/2013	26.4	26.1	25.3	25.4	24.8	24.4	23.8	24.5	26.6	29.0	30.3	31.8	33.0	33.1	33.4	34.0	33.2	31.3	31.1	28.5	28.7	28.8	28.3	26.1	28.7
1/4/2013	27.2	25.0	24.1	25.4	25.2	24.8	24.5	25.0	27.5	27.5	28.8	29.4	30.3	29.9	29.4	29.9	29.1	28.1	27.7	27.2	26.7	26.3	26.0	26.0	27.1
1/5/2013	25.6	25.6	24.7	23.5	23.4	23.0	22.7	23.8	25.3	27.1	30.2	31.4	31.7	32.2	33.0	33.4	32.1	31.4	29.6	28.9	25.4	25.3	25.6	24.8	27.5
1/6/2013	25.4	24.5	24.7	25.0	24.9	23.8	23.8	24.5	25.4	28.0	29.4	30.0	31.1	32.0	33.2	33.1	31.9	30.0	29.0	28.3	27.4	26.7	26.2	25.6	27.7
1/7/2013	25.1	24.7	24.2	23.8	23.4	23.2	22.8	23.1	25.1	28.4	30.2	32.4	33.3	33.6	35.1	35.0	32.7	30.6	29.5	29.0	28.5	28.0	27.6	27.0	28.2
1/8/2013	26.6	26.3	26.2	25.6	25.0	24.5	23.9	25.9	26.0	27.6	29.0	30.6	32.0	32.8	33.5	33.6	33.2	32.4	30.4	29.3	28.2	27.8	27.4	26.0	28.5
1/9/2013	24.7	24.9	23.4	23.5	23.3	23.0	23.2	23.6	26.3	29.0	31.0	32.5	31.6	34.3	35.0	35.0	33.5	32.6	31.0	29.4	29.1	29.0	28.4	27.4	28.5
1/10/2013	26.4	25.1	25.0	24.1	23.3	23.2	23.8	24.7	26.5	28.0	31.0	31.8	32.9	34.0	35.0	34.7	34.1	32.0	30.7	29.4	28.8	28.5	27.8	27.9	28.7
1/11/2013	27.4	27.3	26.5	25.3	25.2	24.7	25.0	25.5	26.7	28.3	29.3	30.1	31.2	31.5	30.8	30.3	30.7	30.4	29.9	29.2	28.7	28.4	28.2	28.0	28.3
1/12/2013	27.6	27.0	26.3	26.4	26.0	25.5	25.0	25.1	26.7	27.3	29.9	31.4	32.4	34.0	33.0	34.4	33.4	32.3	30.6	29.2	28.7	28.2	27.9	27.3	29.0
1/13/2013	26.4	25.9	25.5	25.2	25.0	24.8	25.0	25.6	27.0	28.4	29.8	29.3	30.9	32.6	32.7	32.1	31.6	29.4	26.1	26.0	28.4	28.4	27.7	27.3	28.0
1/14/2013	26.9	26.1	24.8	24.6	24.4	24.3	24.2	24.4	26.6	27.9	30.0	31.4	31.6	32.5	32.2	31.9	31.3	29.2	26.9	25.6	24.7	24.9	25.0	24.6	27.3
1/15/2013	24.0	25.9	25.8	25.1	24.4	23.9	23.7	24.2	25.5	28.4	29.5	30.4	31.4	31.4	32.7	33.1	32.3	30.6	29.8	28.9	27.3	26.5	25.6	25.6	27.7
1/16/2013	26.9	25.2	24.8	24.6	24.7	24.6	24.6	24.8	26.5	29.1	30.3	32.0	33.1	34.3	34.2	34.6	33.1	32.0	31.0	30.5	30.0	29.8	29.4	28.8	29.1
1/17/2013	27.7	27.0	26.4	26.0	25.5	25.0	24.8	25.4	27.0	28.9	30.2	30.7	31.8	32.6	33.0	33.3	32.6	30.9	29.8	29.2	28.8	28.1	27.4	26.6	28.7
1/18/2013	25.4	25.0	24.6	24.2	23.5	23.2	22.6	23.2	24.2	25.7	26.9	27.9	29.2	30.8	31.9	32.6	32.3	31.3	29.8	28.7	27.9	26.9	26.4	25.0	27.1
1/19/2013	24.8	24.4	23.5	22.7	22.2	21.9	21.8	22.1	23.5	25.1	26.6	27.4	28.2	29.7	29.5	29.6	29.3	27.7	27.8	26.0	25.8	24.7	24.6	24.5	25.6
1/20/2013	24.2	23.9	23.6	23.3	23.0	22.5	21.6	22.7	23.8	25.7	27.8	29.1	30.9	31.6	32.4	31.5	30.8	30.3	29.4	28.3	27.8	27.2	26.4	26.0	26.8
1/21/2013	25.7	25.3	25.1	24.5	24.4	24.3	24.4	24.6	26.6	29.0	31.0	32.5	34.0	34.5	35.0	34.0	32.6	31.8	30.4	29.6	29.2	28.4	28.2	27.6	28.9
1/22/2013	27.0	26.5	26.5	26.0	25.1	24.8	25.2	25.3	26.4	27.9	30.2	31.5	32.7	33.3	34.8	35.4	34.3	32.4	31.2	31.0	30.4	29.4	29.0	28.5	29.4
1/23/2013	28.4	28.0	27.6	27.1	27.0	26.4	25.4	25.4	26.1	28.6	30.0	31.8	32.3	33.5	33.3	33.2	32.2	30.6	29.1	28.1	27.4	27.3	27.2	27.4	28.9
1/24/2013	27.3	27.2	27.0	26.3	26.3	26.0	25.7	26.7	27.4	29.4	31.5	32.5	33.8	33.8	32.8	32.2	29.1	29.0	29.3	29.0	28.4	28.1	27.9	27.7	28.9
1/25/2013	27.8	27.6	27.4	27.3	27.1	26.8	26.6	26.7	27.1	28.8	30.0	31.5	28.2	27.6	29.3	30.6	30.5	28.8	27.9	27.8	27.8	27.4	27.7	26.1	28.1
1/26/2013	25.1	26.8	26.7	25.8	25.6	25.1	24.8	25.1	25.6	27.4	28.5	29.8	30.5	32.0	31.0	31.7	30.7	29.7	28.4	27.8	26.7	26.7	26.5	26.4	27.7
1/27/2013	26.1	25.7	26.0	25.4	25.0	24.8	24.8	25.4	27.5	29.0	29.4	30.8	31.9	31.6	32.2	33.0	32.3	30.5	28.7	28.2	27.6	27.7	27.5	27.0	28.3
1/28/2013	27.0	26.4	25.6	25.0	25.0	24.8	24.6	25.0	25.1	25.6	26.4	26.1	27.3	27.9	28.2	28.1	27.9	27.1	26.3	25.9	26.1	25.9	25.7	25.3	26.2
1/29/2013	25.1	24.5	24.2	23.9	23.7	23.5	23.1	23.4	24.7	27.3	28.6	30.0	30.6	31.2	31.2	30.3	29.4	29.3	28.7	28.3	28.0	27.8	27.5	27.3	27.1
1/30/2013	27.1	26.9	26.6	26.4	26.3	26.1	26.2	26.4	27.3	28.9	30.3	30.9	31.0	31.4	32.8	32.0	31.8	30.7	30.1	29.4	27.8	27.4	27.0	26.9	28.7
1/31/2013	27.3	27.0	26.7	26.6	26.2	26.0	25.9	26.2	27.5	29.3	30.0	30.8	32.0	31.6	32.4	24.5	24.0	25.5	26.3	26.4	26.0	25.4	25.1	25.0	27.2
เฉลี่ยทั้งเดือน	26.2	25.8	25.4	25.0	24.7	24.3	24.1	24.6	26.0	27.9	29.5	30.6	31.4	32.1	32.5	32.4	31.5	30.3	29.2	28.4	27.7	27.3	26.9	26.5	27.9

ตารางที่ ค. 2 อุณหภูมิอากาศเดือนกุมภาพันธ์ปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																												เฉลี่ย
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00					
2/1/2013	24.8	24.3	23.9	24.2	24.0	23.6	23.4	23.8	25.7	27.2	27.8	30.4	31.3	31.4	32.3	32.0	30.5	29.5	28.5	28.3	27.5	27.0	26.8	26.6	27.3				
2/2/2013	26.3	26.2	25.9	25.4	25.1	24.7	24.8	25.4	26.0	26.5	27.5	28.3	29.0	30.5	31.4	32.0	31.4	30.4	29.5	28.6	28.3	27.9	27.5	27.3	27.7				
2/3/2013	26.9	26.4	26.1	25.8	25.4	25.2	25.4	25.7	25.9	27.0	28.0	29.3	30.0	31.0	32.0	32.5	32.4	30.3	30.0	29.0	28.7	28.7	28.1	27.9	28.2				
2/4/2013	27.5	27.1	27.0	26.4	26.0	25.4	25.2	25.8	27.2	28.7	30.6	31.9	32.7	33.4	33.9	34.1	33.6	32.3	31.9	31.8	30.9	29.6	29.1	28.9	29.6				
2/5/2013	28.3	27.8	27.2	27.4	27.4	27.1	26.9	26.9	27.6	28.7	29.5	30.7	31.8	32.6	33.4	34.2	33.4	32.8	32.4	32.0	30.7	30.0	29.4	29.0	29.9				
2/6/2013	28.2	28.0	27.8	27.9	27.5	27.4	27.0	27.5	29.1	29.7	30.9	31.0	31.4	32.0	31.8	31.7	31.7	30.0	28.5	27.5	28.0	28.1	27.8	27.6	29.1				
2/7/2013	28.0	27.5	27.4	27.5	27.5	27.5	27.4	28.0	29.5	31.0	31.5	32.2	35.0	35.3	36.8	36.5	34.6	33.4	32.0	31.4	30.1	29.7	29.2	28.7	30.7				
2/8/2013	28.6	28.4	28.2	27.8	27.5	26.8	26.2	27.2	28.3	30.0	31.3	33.0	33.5	34.0	33.4	33.3	32.3	32.0	31.2	30.0	29.5	29.3	29.0	28.5	30.0				
2/9/2013	28.0	28.1	28.0	28.1	27.9	27.8	27.9	28.0	28.6	30.7	31.4	33.0	34.2	35.0	33.6	31.9	31.4	30.0	30.0	29.8	29.7	29.6	29.3	28.9	30.0				
2/10/2013	28.8	28.4	28.0	27.5	27.3	27.0	26.9	26.6	27.3	28.4	29.5	30.7	32.2	33.3	32.4	31.6	30.8	30.4	29.7	29.9	29.9	29.4	29.0	28.8	29.2				
2/11/2013	28.4	27.9	27.7	27.4	27.0	27.0	26.9	27.0	28.3	29.6	29.7	31.2	32.2	33.2	33.3	33.5	33.4	32.4	30.0	29.4	29.5	29.6	29.2	28.8	29.7				
2/12/2013	28.5	28.0	27.8	27.6	27.0	26.5	27.5	27.8	29.2	30.7	31.7	32.9	33.6	34.2	34.4	34.2	33.4	31.6	31.2	31.0	30.4	30.4	30.0	29.4	30.3				
2/13/2013	29.1	28.4	28.1	27.7	27.3	27.0	27.4	27.5	28.8	29.8	31.5	32.4	33.6	33.7	33.4	33.2	32.6	31.7	30.3	29.7	29.2	28.6	28.4	29.8					
2/14/2013	28.2	28.0	27.8	27.0	26.8	26.4	26.3	26.7	27.5	29.0	30.6	32.0	33.6	34.0	35.5	35.4	34.4	34.6	32.0	31.0	30.2	29.4	28.6	28.7	30.2				
2/15/2013	28.4	28.1	27.9	26.9	25.3	25.1	25.4	26.9	27.8	28.6	30.3	31.8	33.1	34.0	35.3	35.6	35.3	34.4	33.9	32.3	31.1	30.0	29.2	28.8	30.2				
2/16/2013	28.5	28.2	27.8	28.1	27.9	27.6	27.1	27.0	28.7	30.3	31.1	31.8	32.2	32.4	33.3	34.7	34.0	33.5	32.4	31.5	30.7	29.7	29.2	28.7	30.1				
2/17/2013	27.5	28.0	27.8	27.4	27.4	26.8	26.9	27.4	29.0	31.0	32.6	34.0	34.4	35.6	35.5	35.2	33.6	32.6	31.0	30.5	29.8	29.4	29.1	28.9	30.5				
2/18/2013	28.7	28.5	28.1	28.0	27.8	27.6	27.5	28.1	29.5	30.5	31.1	31.8	32.3	32.9	33.0	32.7	31.3	30.1	28.7	28.7	29.1	28.4	28.2	28.0	29.6				
2/19/2013	27.9	27.7	27.6	27.9	27.6	27.0	26.8	27.1	28.3	29.8	31.8	33.2	35.0	36.3	36.7	35.6	35.3	34.0	33.0	31.0	30.5	30.0	29.8	29.2	30.8				
2/20/2013	28.7	28.5	28.3	27.8	27.5	27.2	27.4	28.2	29.6	30.9	31.7	32.1	33.0	32.8	32.7	33.3	32.6	31.3	29.3	28.4	28.1	28.0	27.6	27.9	29.7				
2/21/2013	28.1	27.6	27.8	28.4	28.1	27.8	27.1	27.1	28.1	29.6	30.6	31.7	33.0	33.4	33.6	34.6	33.5	32.8	31.4	30.3	30.2	30.0	29.5	29.1	30.1				
2/22/2013	28.9	28.4	28.0	27.9	27.4	27.0	26.6	26.9	27.7	28.8	32.7	33.0	33.6	33.8	34.5	34.4	34.1	33.3	32.3	31.7	31.0	30.4	29.6	29.0	30.5				
2/23/2013	28.6	28.1	27.8	27.4	26.4	25.5	24.5	24.7	26.2	27.9	29.2	29.9	30.8	31.7	32.4	32.0	31.6	31.0	30.7	30.4	30.0	29.4	28.9	28.6	28.9				
2/24/2013	28.4	28.0	27.6	27.2	26.4	25.4	25.0	25.1	26.8	27.5	28.8	29.5	31.4	32.0	33.5	34.3	33.4	33.3	32.3	31.8	31.3	30.6	30.3	29.8	29.6				
2/25/2013	29.7	29.4	29.0	28.9	28.6	28.0	27.3	27.5	28.0	29.5	31.2	32.2	33.0	34.3	35.0	35.5	35.0	34.5	33.8	33.4	33.0	32.4	31.8	31.2	31.3				
2/26/2013	30.8	30.3	29.8	29.0	28.2	27.5	28.0	28.2	29.9	31.8	33.6	35.7	36.6	36.5	37.6	37.1	35.4	33.9	32.4	31.6	31.0	30.6	30.0	29.6	31.9				
2/27/2013	29.2	28.7	28.2	28.2	28.0	27.6	28.0	28.3	29.4	30.8	31.6	32.7	33.6	34.7	35.2	34.6	33.4	31.7	30.4	29.8	29.1	29.5	29.3	29.1	30.5				
2/28/2013	28.4	28.4	28.0	28.2	28.0	28.0	28.0	28.6	30.1	31.7	33.1	34.2	35.2	35.8	35.6	35.3	34.9	33.1	31.8	30.7	29.8	29.2	28.7	28.4	31.0				
เฉลี่ยทั้งเดือน	28.3	27.9	27.7	27.5	27.1	26.7	26.6	27.0	28.0	29.4	30.6	31.8	32.8	33.5	34.0	34.0	33.3	32.3	31.2	30.4	29.9	29.5	29.0	28.7	29.9				

ตารางที่ ค. 3 อุณหภูมิอากาศเดือนมีนาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																												เฉลี่ย
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00					
3/1/2013	28.3	28.4	28.0	28.4	28.2	28.0	28.3	28.7	30.4	31.5	32.6	34.3	34.1	34.6	35.0	35.6	33.7	32.7	31.7	30.8	30.2	29.8	29.4	29.0	30.9				
3/2/2013	28.8	28.6	28.3	28.4	28.3	28.2	27.4	28.2	29.3	30.5	31.5	32.4	33.3	34.1	34.7	35.3	34.4	33.3	31.9	31.0	31.0	30.2	29.8	29.5	30.8				
3/3/2013	29.3	29.0	28.8	28.5	28.4	28.4	28.0	28.3	29.7	30.6	31.1	32.0	32.9	26.7	27.0	26.0	27.6	27.5	27.0	26.7	25.6	25.7	25.6	25.7	28.0				
3/4/2013	25.9	25.9	25.7	25.5	25.0	24.7	24.8	24.7	24.4	24.2	24.9	25.0	25.4	25.0	25.4	25.5	25.5	25.2	24.9	24.6	24.5	24.5	24.4	23.7	25.0				
3/5/2013	23.5	23.4	23.1	23.4	22.9	22.8	23.1	23.9	24.4	25.3	27.0	27.6	29.9	30.6	31.2	31.7	31.1	30.4	29.4	28.7	28.5	27.8	27.2	26.5	26.8				
3/6/2013	25.8	25.3	25.0	24.8	24.4	24.2	24.7	25.1	27.0	29.4	31.0	32.3	32.7	33.6	33.8	34.5	34.0	33.4	32.3	31.0	30.4	29.6	29.0	28.5	29.2				
3/7/2013	28.0	27.4	27.0	26.4	26.1	25.9	26.0	26.8	28.4	29.6	30.9	33.0	34.3	34.9	35.4	34.8	34.4	33.9	32.8	32.2	32.0	31.5	31.6	30.5	30.6				
3/8/2013	30.5	29.4	28.9	27.2	27.0	26.9	26.6	27.5	29.9	31.3	32.2	34.1	35.3	35.8	34.8	35.8	36.4	34.4	32.4	31.6	30.0	29.1	29.0	28.7	31.0				
3/9/2013	28.8	28.6	28.3	28.3	28.0	28.0	28.2	28.7	30.0	31.0	31.8	32.6	33.8	34.7	35.4	34.2	32.4	31.3	30.4	30.0	29.5	29.2	29.1	29.0	30.5				
3/10/2013	28.7	28.5	28.2	28.2	28.0	28.0	28.0	27.5	28.4	30.6	32.2	33.5	35.0	34.6	35.5	34.8	34.5	33.0	31.4	30.0	29.6	29.1	28.9	28.7	30.6				
3/11/2013	28.4	28.2	28.0	28.0	27.9	27.0	26.9	27.9	29.8	31.5	33.0	34.0	34.3	35.0	35.4	35.6	34.9	33.6	32.1	30.4	29.9	29.4	29.3	28.9	30.8				
3/12/2013	28.9	28.7	28.4	28.4	28.0	28.1	28.1	28.9	29.4	30.7	32.2	33.6	34.4	35.0	35.3	34.9	34.3	33.3	31.9	30.2	29.4	29.2	28.8	28.6	30.8				
3/13/2013	28.6	28.3	28.2	28.5	28.4	28.5	27.2	28.3	32.0	32.0	32.7	34.0	35.2	36.0	37.0	37.1	36.8	36.0	33.8	32.8	31.3	30.0	29.3	29.1	31.7				
3/14/2013	28.9	28.7	28.4	28.4	28.0	27.5	27.1	27.8	29.4	30.9	32.6	34.3	35.5	36.2	37.2	37.6	36.4	35.1	33.0	31.8	30.4	30.5	30.2	29.1	31.5				
3/15/2013	28.2	27.7	27.2	26.4	26.5	26.2	26.2	27.2	28.4	31.4	33.0	33.6	33.8	32.5	32.0	25.5	26.1	28.8	28.7	28.3	28.0	27.9	27.8	27.0	28.7				
3/16/2013	27.0	27.0	26.4	26.3	26.2	26.0	26.0	26.5	27.8	30.5	32.0	33.3	33.8	35.1	35.0	34.9	34.4	33.2	31.4	30.0	30.0	29.8	29.7	29.4	30.1				
3/17/2013	29.3	29.2	29.0	28.6	28.3	28.0	27.0	28.1	30.6	32.0	33.3	34.5	35.0	36.2	35.8	35.5	34.6	33.1	31.4	30.4	29.5	29.0	28.7	28.5	31.1				
3/18/2013	29.0	28.8	28.6	28.8	28.7	28.6	28.8	29.5	30.8	31.6	33.5	33.7	34.5	35.0	35.3	35.0	34.0	32.2	30.7	30.2	30.0	30.0	29.7	29.4	31.1				
3/19/2013	29.2	29.0	28.9	28.8	28.8	28.5	27.8	28.5	28.8	30.5	32.0																		

ตารางที่ ค. 4 อุณหภูมิอากาศเดือนเมษายนปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีคอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
4/1/2013	29.9	29.6	29.2	29.2	29.1	28.9	29.4	30.9	33.0	33.7	34.7	35.8	36.7	37.6	38.2	38.4	36.4	34.8	33.1	31.7	31.0	30.7	30.5	30.4	32.6
4/2/2013	30.1	29.7	29.7	28.8	28.2	28.0	28.0	29.0	32.4	33.5	35.0	36.2	37.2	37.7	38.2	37.8	36.4	34.0	32.5	32.0	31.6	31.0	30.7	30.5	32.4
4/3/2013	30.3	30.0	29.8	29.2	28.9	29.5	30.0	30.7	31.8	33.3	34.5	36.0	36.9	37.2	37.4	37.0	35.3	34.3	32.0	31.8	30.9	30.8	30.6	30.4	32.4
4/4/2013	30.2	30.0	30.0	30.0	29.9	29.9	30.1	31.0	32.4	33.6	34.5	35.3	36.1	36.8	37.8	36.2	35.0	34.1	32.0	31.3	31.2	30.9	30.6	30.4	32.5
4/5/2013	30.2	30.0	30.0	29.6	29.4	29.0	29.0	29.6	30.7	32.8	34.6	36.0	37.1	38.2	39.3	39.9	38.1	35.7	34.1	33.3	31.7	30.8	30.4	30.2	32.9
4/6/2013	30.1	29.9	29.7	29.6	29.5	29.4	29.5	30.0	30.4	32.2	34.2	35.2	35.8	36.7	37.7	37.7	37.3	37.2	35.9	34.1	32.6	31.7	31.2	30.3	32.8
4/7/2013	30.4	30.2	29.9	29.7	29.4	28.9	28.2	28.8	29.5	31.9	32.8	34.5	35.5	36.3	37.5	37.4	36.7	36.3	35.1	34.5	34.0	32.5	31.4	31.2	32.6
4/8/2013	30.9	29.8	29.5	29.2	28.8	28.1	27.8	28.3	29.7	31.0	32.2	34.0	35.0	36.0	36.4	35.7	35.3	33.8	33.0	32.3	31.6	31.0	30.6	30.3	31.7
4/9/2013	30.0	29.5	28.8	27.8	26.8	26.4	26.3	28.0	30.0	32.0	33.5	34.7	36.7	37.9	38.5	38.5	37.7	35.4	34.0	32.0	31.5	31.0	30.4	29.8	32.0
4/10/2013	29.7	29.7	29.3	28.5	27.7	27.2	26.9	28.9	31.5	32.1	33.5	34.6	36.4	36.5	37.3	35.8	35.0	34.5	33.3	32.8	31.7	31.0	30.6	30.3	31.9
4/11/2013	29.9	29.9	29.8	29.6	28.3	27.7	28.0	28.5	29.5	30.8	32.5	34.0	34.5	32.6	26.4	26.0	27.4	28.5	29.0	28.5	28.4	28.4	28.4	28.1	29.4
4/12/2013	27.4	27.2	27.0	26.7	26.5	26.3	26.6	27.3	28.2	28.6	27.7	28.2	28.9	30.3	31.3	31.7	31.0	31.3	30.5	29.9	29.9	29.7	29.6	29.4	28.8
4/13/2013	29.2	28.7	28.3	28.3	28.0	27.8	27.7	28.2	29.5	31.6	32.8	34.0	34.9	35.0	36.2	36.9	36.0	35.5	34.8	33.3	32.8	31.9	31.5	31.0	31.8
4/14/2013	30.4	30.2	29.0	28.6	28.4	28.0	28.5	29.0	31.3	32.0	32.6	33.5	34.8	35.8	36.5	35.5	31.2	31.4	26.5	27.5	26.8	25.2	26.2	26.4	30.2
4/15/2013	26.0	25.8	25.8	25.7	25.6	25.7	25.6	26.0	27.4	28.5	29.9	30.5	32.5	33.0	32.0	32.0	31.5	30.5	29.1	27.7	27.6	27.8	27.4	27.2	28.4
4/16/2013	27.0	27.0	26.5	26.6	26.5	26.6	26.7	26.5	27.2	28.3	30.3	31.2	32.7	33.7	34.4	33.4	31.3	30.4	29.6	29.4	28.5	28.1	27.6	27.3	29.0
4/17/2013	27.5	27.2	27.1	26.4	26.7	26.5	26.6	26.7	26.9	27.3	27.8	28.6	29.7	30.5	31.0	31.2	30.4	29.4	29.2	28.5	28.2	28.0	27.7	27.4	28.2
4/18/2013	27.2	26.6	26.2	26.0	25.9	25.7	26.0	27.0	27.6	29.5	32.4	33.6	34.0	34.2	35.6	37.0	36.4	35.9	33.1	31.1	31.4	31.3	30.8	30.0	30.6
4/19/2013	29.6	29.3	28.8	28.6	27.9	27.7	27.8	28.7	30.5	32.1	33.5	34.8	35.3	37.5	38.0	38.8	36.7	35.5	34.0	32.8	31.8	31.5	30.9	30.7	32.2
4/20/2013	30.5	30.0	29.9	29.7	28.8	28.2	28.3	29.6	31.6	33.0	34.3	35.4	36.7	37.3	37.2	36.1	35.8	35.3	33.1	32.4	31.7	31.1	30.7	30.3	32.4
4/21/2013	29.9	29.6	29.4	29.6	29.5	29.1	29.0	30.0	31.7	33.2	35.0	35.8	36.6	37.5	38.0	37.6	37.0	35.6	34.2	32.9	32.2	31.6	31.2	31.0	32.8
4/22/2013	30.3	30.2	30.1	29.5	29.0	28.8	29.9	30.0	31.6	32.3	33.0	34.1	35.0	36.0	36.5	34.1	35.0	34.5	33.8	32.0	31.9	31.2	30.5	29.3	32.0
4/23/2013	29.3	29.3	28.7	28.3	27.8	27.5	28.0	29.3	30.9	31.6	33.3	33.9	34.4	36.0	35.5	34.5	32.5	29.5	27.5	27.8	28.0	28.0	28.0	27.8	30.3
4/24/2013	27.4	27.2	27.1	27.0	26.9	26.6	26.9	28.3	30.6	32.7	33.3	34.2	34.1	31.0	28.6	30.9	31.8	32.4	31.6	31.0	30.5	30.1	29.6	29.4	30.0
4/25/2013	29.3	29.0	28.5	27.8	27.5	27.3	27.9	28.6	30.7	32.4	33.6	34.8	36.2	36.3	36.9	37.1	35.5	34.0	32.6	31.8	31.5	31.2	31.0	30.5	31.8
4/26/2013	30.2	29.8	29.3	28.7	27.9	27.2	27.6	28.5	30.6	33.3	33.6	35.4	35.4	35.4	35.6	35.5	35.9	34.2	33.0	32.2	31.5	31.0	30.8	30.5	31.8
4/27/2013	30.4	30.0	29.8	29.6	29.4	29.2	28.7	29.0	30.0	30.9	31.9	32.5	33.6	34.8	36.5	35.0	30.0	32.4	31.5	31.1	30.5	30.0	29.7	29.3	31.8
4/28/2013	29.3	29.4	29.7	28.7	28.4	28.2	28.5	29.5	31.0	31.7	33.3	33.8	34.6	34.8	35.3	34.3	33.8	32.7	31.6	31.0	30.9	30.6	30.4	30.2	31.3
4/29/2013	29.9	29.8	29.5	29.4	29.0	28.5	28.8	28.8	32.0	33.4	34.4	35.5	35.8	36.5	36.3	36.9	36.0	34.8	33.0	32.3	31.8	31.3	31.0	30.7	32.3
4/30/2013	30.3	29.9	29.7	29.9	29.9	29.3	29.0	30.6	32.5	34.1	34.1	34.0	34.6	35.2	36.3	36.2	35.8	34.0	33.1	32.5	31.5	30.8	30.4	30.4	32.3
เฉลี่ยทั้งเดือน	29.4	29.2	28.9	28.5	28.2	27.9	28.0	28.8	30.4	31.8	33.0	34.0	34.9	35.5	35.7	35.5	34.5	33.6	32.2	31.4	30.8	30.4	30.0	29.7	31.4

ตารางที่ ค. 5 อุณหภูมิอากาศเดือนพฤษภาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีคอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
5/1/2013	30.3	30.1	29.9	29.7	29.5	29.3	29.8	30.6	30.9	33.1	35.0	36.3	36.7	37.5	38.4	36.5	35.2	34.0	32.5	31.7	31.4	31.3	31.2	31.0	32.6
5/2/2013	30.8	30.7	30.5	30.3	29.9	29.4	29.5	30.2	31.6	33.2	35.0	36.0	36.5	37.6	38.6	39.3	38.8	37.7	35.0	34.0	33.3	32.6	32.0	31.4	33.5
5/3/2013	31.0	30.7	30.6	30.8	30.6	30.7	31.2	31.4	32.8	34.0	35.5	36.4	36.8	38.3	36.6	36.0	35.4	35.1	34.4	33.3	32.6	31.7	31.3	31.0	33.3
5/4/2013	30.8	30.5	30.5	30.1	29.5	29.0	29.1	30.1	32.3	33.0	35.3	36.0	35.9	34.0	36.8	36.4	36.7	35.4	34.0	33.5	32.5	32.0	31.8	31.0	32.8
5/5/2013	30.7	30.4	29.7	29.2	29.0	28.6	28.7	29.2	25.3	25.0	25.7	29.0	30.5	33.0	34.6	35.5	35.0	34.3	32.0	31.5	30.5	30.3	30.2	30.1	30.3
5/6/2013	28.7	28.4	28.1	27.8	27.7	27.8	28.0	29.0	31.8	32.8	33.4	34.4	35.6	37.0	37.1	37.4	35.2	34.8	34.1	32.8	31.6	31.2	31.0	26.4	31.8
5/7/2013	25.5	25.8	25.7	25.8	25.4	25.4	26.2	27.3	29.8	31.6	33.6	34.9	35.5	36.3	36.4	36.4	36.0	34.8	33.6	32.6	32.2	31.4	30.8	30.4	31.0
5/8/2013	29.4	29.2	29.4	29.1	28.8	27.7	27.5	29.6	32.1	33.8	34.6	36.1	37.2	37.5	38.2	38.0	36.8	35.1	33.8	32.3	32.0	31.5	31.3	31.2	32.6
5/9/2013	31.0	30.7	30.6	29.6	29.0	28.8	29.0	29.6	32.5	33.5	28.4	28.9	32.3	35.0	36.9	37.0	35.5	34.0	32.9	32.3	31.8	31.3	30.6	30.4	31.7
5/10/2013	30.3	30.0	30.0	29.6	29.0	28.5	28.5	30.0	30.7	32.5	34.3	35.1	36.0	36.7	37.1	36.7	35.4	33.7	32.6	31.8	32.0	31.7	31.4	31.2	32.3
5/11/2013	30.8	29.9	30.5	30.4	30.2	30.1	30.5	31.1	32.8	33.8	35.0	34.9	35.3	35.8	36.8	36.4	35.6	34.5	33.4	32.2	31.7	31.4	31.1	30.9	32.7
5/12/2013	30.8	30.6	30.6	30.5	30.4	30.5	29.7	30.9	32.2	33.4	35.5	35.5	36.1	36.9	36.4	34.7	34.2	33.0	32.4	31.6	31.0	30.4	31.0	31.0	32.5
5/13/2013	30.8	30.5	30.4	30.3	30.2	30.1	30.3	31.0	32.5	32.8	33.4	32.5	33.0	34.0	35.2	35.8	36.1	36.3	34.3	33.3	32.0	31.8	31.6	31.2	32.5
5/14/2013	31.0	30.8	30.5	30.3	30.1	30.0	30.3	30.8	32.4	33.5	34.8	36.3	37.4	38.5	38.7	38.5	38.2	37.8	34.5	32.4	32.3	32.0	31.9	31.7	33.5
5/15/2013	31.4	30.8	30.9	30.7	30.2	29.8	30.0	31.1	32.5	34.2	35.6	36.4	36.5	37.6	38.4	39.6	38.5	37.3	36.5	34.5	33.5	33.1	32.4	32.3	33.9
5/16/2013	32.0	31.6	31.3	31.4	31.0	31.0	31.0	31.3	32.4	33.8	36.0	36.7	37.3	38.0	38.8	37.4	37.4	36.8	34.5	32.8	32.5	32.0	31.8	31.6	33.8
5/17/2013	31.3	31.2	29.9	30.8	30.5	30.3	30.5	31.2	32.0	33.															

ตารางที่ ค. 6 อุณหภูมิอากาศเดือนมิถุนายนปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
6/1/2013	27.5	27.5	27.4	27.0	27.0	27.0	26.8	27.8	30.0	32.0	33.6	34.2	35.5	36.5	36.7	37.9	36.5	35.0	33.0	32.7	32.4	31.3	30.5	30.6	31.5
6/2/2013	29.6	28.8	28.5	28.2	27.6	27.6	28.2	28.6	29.9	32.0	33.0	33.7	33.5	33.2	32.2	33.0	32.1	31.4	30.1	29.1	28.5	28.3	27.8	27.3	30.1
6/3/2013	27.1	27.0	26.6	26.5	26.6	26.3	26.8	28.0	29.6	31.8	33.5	32.4	27.4	26.3	27.1	28.0	29.9	30.2	29.6	29.3	28.0	27.7	27.7	27.6	28.4
6/4/2013	27.3	27.3	27.2	27.4	27.3	26.9	27.0	27.8	29.5	31.2	27.4	25.3	26.1	28.6	30.7	30.8	30.3	30.1	29.4	28.8	28.4	28.0	27.9	27.4	28.3
6/5/2013	27.3	27.1	26.5	26.1	26.0	26.0	26.4	27.3	28.2	30.0	31.5	30.0	27.5	26.0	26.2	27.8	26.8	26.6	26.0	25.2	25.1	25.0	24.9	24.9	26.9
6/6/2013	25.1	25.0	25.1	24.8	24.8	24.8	25.0	25.8	27.0	28.5	30.7	31.5	32.3	32.4	32.0	32.0	29.6	29.0	29.5	29.7	29.5	29.1	28.5	28.5	28.3
6/7/2013	27.6	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.3	27.8	28.7	30.6	31.7	32.9	34.0	34.6	34.1	33.0	28.4	27.4	27.3	27.7	27.9	28.2	28.0	27.7	29.2
6/8/2013	27.5	27.3	27.2	27.3	27.2	27.0	27.1	27.6	29.5	31.8	33.4	34.0	34.5	34.8	35.5	36.6	35.6	35.4	32.0	30.8	30.2	29.8	29.6	29.5	30.9
6/9/2013	29.2	28.8	28.0	28.3	28.0	28.0	28.1	29.3	30.5	32.2	33.4	34.3	35.4	35.7	36.1	36.7	36.5	36.0	35.0	27.3	27.6	28.0	28.5	28.5	31.2
6/10/2013	28.4	28.2	28.0	27.5	27.3	28.0	28.4	29.0	30.9	33.0	34.0	35.0	35.3	35.4	35.5	36.3	36.5	35.0	29.0	29.8	29.9	29.8	29.0	26.7	31.1
6/11/2013	26.5	26.7	26.4	25.2	26.0	26.5	26.8	27.2	28.0	29.5	31.0	32.2	33.0	33.4	34.4	34.6	29.3	26.8	27.2	27.3	27.0	26.5	26.3	26.0	28.5
6/12/2013	26.4	26.3	26.6	27.0	27.1	25.9	25.5	26.0	26.1	27.6	29.5	31.7	32.1	32.5	32.4	28.4	28.2	28.0	27.4	26.8	26.6	26.5	26.5	26.6	27.8
6/13/2013	26.4	26.1	26.4	25.9	25.7	26.0	26.3	28.4	27.4	27.9	29.2	30.3	31.2	27.1	26.4	26.4	26.6	26.5	26.6	26.5	26.6	26.5	26.4	26.5	27.1
6/14/2013	26.5	26.3	26.4	26.5	26.1	26.1	26.4	27.0	27.8	29.5	31.1	31.8	32.3	33.0	33.5	33.8	33.8	33.5	32.3	31.2	29.0	28.5	28.8	29.0	29.6
6/15/2013	28.6	28.3	27.9	27.8	27.6	27.4	27.6	28.0	28.1	27.9	29.7	31.8	32.6	33.8	34.1	33.8	33.2	32.4	31.2	30.3	29.7	29.0	28.6	28.8	29.9
6/16/2013	29.0	28.6	28.7	28.8	28.5	27.5	27.5	28.0	29.5	31.7	32.5	33.9	34.0	34.5	34.3	32.9	32.0	31.5	31.0	30.2	29.6	29.4	29.1	29.0	30.5
6/17/2013	28.5	28.0	28.1	28.4	28.4	27.8	27.5	28.7	29.5	31.3	33.0	33.5	34.0	34.3	32.3	32.5	33.0	29.5	27.5	27.4	27.5	27.7	27.5	27.2	29.7
6/18/2013	27.2	26.8	27.0	27.3	27.4	27.5	28.0	29.2	30.0	30.6	31.0	31.9	33.5	33.2	33.0	32.3	31.9	33.3	30.0	29.4	29.0	29.0	28.9	29.2	29.9
6/19/2013	29.2	29.0	28.6	28.5	28.4	28.5	28.8	29.5	30.2	31.7	32.4	33.8	34.6	34.2	34.7	33.4	32.4	28.5	27.4	27.4	27.3	27.6	27.7	27.6	30.1
6/20/2013	27.3	27.4	27.3	27.4	27.2	27.5	28.0	29.2	30.8	32.3	33.0	33.7	34.2	34.4	34.4	33.0	32.5	32.0	30.0	29.8	29.7	29.6	29.4	29.2	30.4
6/21/2013	29.1	29.0	28.9	28.9	28.8	29.4	29.8	30.0	30.6	29.4	30.6	29.8	30.8	30.4	30.4	30.3	30.0	30.4	29.9	29.7	29.4	29.4	29.1	29.0	29.7
6/22/2013	29.0	29.0	28.8	28.2	27.9	28.0	28.0	28.5	29.5	31.0	32.0	32.5	33.2	34.0	33.6	32.0	31.0	30.1	30.0	29.2	28.4	28.3	28.4	28.2	30.0
6/23/2013	27.7	27.4	27.2	27.0	27.1	27.1	27.5	28.0	29.0	29.5	30.4	31.2	30.4	29.3	28.3	27.8	27.9	27.7	27.9	27.9	28.1	28.2	28.0	28.0	28.3
6/24/2013	28.2	27.2	26.8	26.8	26.5	26.8	27.0	27.8	28.9	30.3	31.6	32.8	33.2	33.7	33.9	33.2	32.8	31.3	28.4	27.9	28.1	28.2	28.4	28.5	29.5
6/25/2013	28.3	28.0	27.8	28.2	28.0	28.0	28.3	29.0	30.0	31.3	32.2	32.5	33.0	33.3	33.2	32.9	33.4	32.0	30.8	30.2	30.0	29.7	29.7	29.7	30.4
6/26/2013	29.2	28.8	28.5	28.1	28.0	27.7	27.6	27.8	28.0	28.0	27.9	28.2	29.8	30.4	29.8	29.5	29.5	29.8	29.4	28.8	28.2	28.0	28.0	28.0	28.6
6/27/2013	27.7	27.6	27.7	27.7	27.6	27.6	28.0	29.0	30.7	32.0	32.3	32.5	33.2	33.5	33.2	32.8	33.0	32.4	31.7	30.8	30.0	29.4	29.0	30.4	30.4
6/28/2013	28.5	28.0	27.8	27.5	27.2	27.1	27.5	28.5	30.2	31.6	32.8	34.2	34.6	34.7	34.2	34.0	33.7	33.6	32.0	30.7	30.4	30.1	29.7	29.4	30.8
6/29/2013	28.8	28.4	28.1	27.6	27.3	27.2	27.3	28.5	29.9	32.0	33.2	34.3	35.5	33.0	34.0	34.7	34.5	33.5	31.6	31.1	30.6	30.1	29.6	29.3	30.8
6/30/2013	28.8	28.4	28.1	27.6	27.3	27.0	27.2	28.4	29.8	31.6	32.8	34.0	35.0	35.8	35.6	34.2	33.8	32.4	30.1	29.8	29.4	29.0	28.5	28.3	30.5
เฉลี่ยทั้งเดือน	27.9	27.6	27.5	27.4	27.2	27.2	27.4	28.2	29.3	30.7	31.7	32.3	32.7	32.7	32.7	32.5	31.8	31.0	29.8	29.1	28.7	28.6	28.3	28.2	29.6

ตารางที่ ค. 7 อุณหภูมิอากาศเดือนกรกฎาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
7/1/2013	28.2	28.0	27.6	27.5	27.2	27.0	27.5	28.6	30.0	31.8	32.8	33.4	34.5	35.3	35.3	36.2	35.3	30.8	29.0	29.0	29.1	29.3	29.2	28.8	30.5
7/2/2013	28.4	28.3	28.0	27.5	27.3	27.4	27.6	28.6	29.8	31.0	32.2	33.7	34.4	35.3	35.4	35.2	34.2	33.7	32.3	31.0	30.5	30.3	30.0	29.9	30.9
7/3/2013	29.8	29.5	29.0	28.5	28.3	28.0	28.3	29.0	30.3	32.0	33.1	33.6	34.6	34.7	35.3	36.4	35.6	30.4	29.7	28.7	30.0	30.3	30.2	30.0	31.1
7/4/2013	30.0	30.0	29.0	28.4	27.8	28.0	28.2	28.7	30.0	31.3	32.4	33.3	34.0	34.5	34.2	34.2	33.5	32.0	31.0	30.2	30.0	29.1	28.7	28.5	30.7
7/5/2013	28.0	28.0	27.8	27.5	27.7	27.2	27.5	28.3	29.3	30.6	31.1	29.4	27.3	28.5	29.9	32.2	31.6	31.2	30.4	30.0	29.6	29.3	29.2	29.1	29.2
7/6/2013	29.0	28.7	28.5	27.9	27.6	27.3	27.5	28.1	28.6	29.5	31.8	32.2	28.5	30.1	31.0	31.1	31.0	30.7	30.2	29.4	29.1	28.9	28.8	28.4	29.3
7/7/2013	27.9	27.4	27.2	27.0	26.5	26.6	26.2	26.6	28.7	29.7	31.3	32.4	33.6	31.7	33.4	34.0	33.2	31.5	30.7	29.9	28.7	27.9	27.7	28.5	29.5
7/8/2013	26.7	26.5	26.3	26.3	26.0	26.2	26.3	26.6	27.5	29.6	30.7	27.5	28.8	29.5	30.5	30.6	30.3	29.5	29.1	28.8	28.1	27.7	27.2	27.6	28.1
7/9/2013	27.1	26.4	26.2	26.4	26.4	26.0	26.0	26.3	26.8	28.8	30.3	31.2	31.4	30.9	30.9	30.6	30.0	27.0	25.5	25.4	25.8	26.0	26.0	26.0	27.6
7/10/2013	26.0	25.9	25.6	25.5	25.6	25.6	26.0	27.1	27.4	27.8	28.0	28.9	30.0	30.7	31.5	31.3	30.9	30.4	29.4	27.4	26.5	26.4	26.5	26.0	27.8
7/11/2013	26.4	26.3	26.2	26.1	26.0	25.8	26.3	26.7	27.6	29.0	30.2	32.4	33.7	33.9	33.8	32.3	26.5	26.0	26.0	25.7	25.6	25.7	25.8	25.7	27.9
7/12/2013	25.8	25.9	25.8	25.8	25.7	25.9	26.0	26.4	27.5	29.5	30.0	31.1	31.5	32.6	32.9	33.9	32.6	32.8	31.8	31.1	30.5	27.1	27.4	27.3	29.0
7/13/2013	27.0	26.9	26.8	26.8	26.7	26.9	27.0	28.0	29.3	30.9	32.2	33.4	33.9	34.6	34.3	33.7	33.4	32.9	32.4	31.3	30.3	29.8	29.3	28.8	30.3
7/14/2013	28.3	28.0	27.8	27.7	27.5	27.1	27.3	28.2	29.5	31.0	32.2	32.8	33.2	34.0	33.8	33.8	33.7	32.0	31.3	30.8	30.2	29.9	29.9	29.5	30.4
7/15/2013	28.8	28.2	28.0	27.8	27.5	27.6	27.6	28.4	29.5	31.0	32.0	33.0	31.6	34.4	34.4	35.3	34.0	32.2	31.2	29.8	26.8	27.4	27.3	27.2	30.0
7/16/2013	27.4	27.1	27.0	26.8	26.6	26.6	27.0	27.6	28.4	29.8	31.0	31.6	32.2	33.0	33.0	32.8	31.0	26.6	26.8	27.2	27.4	27.6	28.0	27.8	28.8
7/17/2013	27.3	27.2	26.8	26.4	26.1	25.9	26.2	27.3	29.0	30.5	32.5	32.													

ตารางที่ ค. 8 อุณหภูมิอากาศเดือนสิงหาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีดอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
8/1/2013	27.4	27.4	27.0	26.9	26.5	26.2	26.7	27.6	29.6	30.4	32.2	33.0	33.0	34.0	34.6	33.8	33.8	33.0	31.8	31.0	30.4	30.1	29.4	29.2	30.2
8/2/2013	28.9	28.2	27.9	27.7	27.5	27.2	27.5	28.2	29.3	31.0	32.0	33.0	33.6	34.3	34.3	34.7	34.2	31.8	27.8	28.3	28.4	28.5	28.6	28.5	30.1
8/3/2013	28.3	28.0	27.3	27.1	27.1	27.0	27.3	28.0	29.9	31.4	32.2	33.2	33.7	34.0	34.6	33.0	26.5	27.0	26.7	26.8	27.0	27.3	27.5	27.5	29.1
8/4/2013	27.7	27.7	27.6	27.4	27.2	27.2	27.4	28.3	29.3	30.2	31.5	32.5	32.9	33.4	32.9	32.9	32.5	31.3	29.9	29.5	29.2	28.8	28.8	28.7	29.8
8/5/2013	28.4	28.3	27.3	27.0	26.6	26.8	26.9	27.6	29.3	30.6	31.7	33.1	33.8	33.4	32.8	32.0	31.3	29.8	29.3	28.8	28.6	28.6	28.5	28.5	29.5
8/6/2013	28.1	27.8	27.6	27.7	27.6	27.7	27.6	28.4	30.6	30.8	32.0	32.5	32.8	34.9	35.3	35.3	35.0	34.7	33.8	32.4	31.1	29.8	29.0	28.8	30.9
8/7/2013	28.8	28.5	28.6	28.3	28.0	27.9	28.0	28.5	29.6	30.7	31.9	33.0	33.7	33.6	33.3	33.2	32.8	32.1	31.9	31.6	29.0	28.4	28.0	27.8	30.3
8/8/2013	27.7	27.2	26.8	26.6	26.5	26.4	26.8	27.8	29.0	30.8	32.1	33.8	34.1	34.3	33.1	32.0	31.7	31.2	30.5	30.0	28.1	28.0	27.7	27.3	29.6
8/9/2013	26.9	26.8	26.7	26.8	26.7	26.5	26.4	27.2	29.9	30.0	28.2	30.0	31.0	28.3	28.0	27.0	27.2	27.5	27.7	27.4	28.0	27.4	27.0	27.7	28.9
8/10/2013	26.6	24.7	25.0	25.0	26.0	25.8	26.0	26.2	26.5	26.7	28.2	30.1	31.2	32.2	32.3	33.0	33.3	32.8	31.8	30.4	29.7	29.0	29.0	29.2	28.9
8/11/2013	28.7	28.0	27.8	27.5	27.0	26.7	26.8	27.5	28.6	30.3	31.5	32.2	31.7	30.5	30.5	30.8	30.3	29.5	29.2	29.0	28.7	28.6	28.3	28.0	29.1
8/12/2013	27.8	27.4	27.0	26.3	26.0	26.1	26.2	26.7	27.7	29.0	30.2	32.0	32.9	32.8	33.3	34.4	32.8	31.5	30.5	30.0	28.8	26.2	25.3	25.0	29.0
8/13/2013	24.8	25.2	25.2	25.3	25.2	25.0	25.3	26.8	28.6	30.3	31.3	31.7	32.3	33.4	29.8	29.7	28.4	26.4	25.4	26.7	26.6	26.1	25.8	25.6	27.6
8/14/2013	25.4	25.2	25.4	25.2	25.4	25.4	25.7	26.3	27.0	28.0	29.1	30.1	31.5	32.0	31.8	32.1	31.6	30.8	30.0	29.4	28.6	28.7	28.8	28.6	28.4
8/15/2013	28.2	28.5	27.6	27.5	27.2	27.3	27.8	28.5	30.2	31.2	32.0	32.4	33.3	33.0	29.5	27.5	28.5	29.0	29.0	29.0	28.3	28.0	27.9	27.5	29.1
8/16/2013	27.2	27.0	26.7	26.6	26.8	27.0	27.2	27.6	29.2	30.5	32.0	32.5	32.0	32.5	32.8	33.2	32.4	31.4	29.5	29.0	28.9	28.8	28.5	28.3	29.5
8/17/2013	28.0	27.6	27.2	27.0	26.8	27.0	27.0	27.6	29.2	30.5	32.6	33.0	33.6	34.5	34.6	34.2	31.9	31.5	31.1	30.3	29.8	29.4	28.8	28.5	30.1
8/18/2013	28.0	27.7	27.5	27.7	27.5	27.7	28.3	29.2	30.8	31.6	32.3	32.9	33.3	33.2	32.9	32.3	30.4	29.8	29.0	28.7	28.0	28.7	28.3	29.8	29.8
8/19/2013	28.0	27.7	27.2	27.1	27.0	27.1	27.4	28.1	30.5	32.0	32.6	33.5	33.9	34.5	35.0	35.5	35.4	33.5	31.4	31.1	30.8	30.9	29.5	29.6	30.8
8/20/2013	28.8	28.5	28.2	28.2	28.3	28.1	28.5	29.0	30.3	31.4	32.1	32.9	33.3	32.6	32.7	31.4	29.3	29.0	28.4	28.0	28.3	28.6	28.6	28.4	29.7
8/21/2013	28.3	28.1	27.9	27.5	27.9	28.0	28.0	27.5	29.5	30.5	31.4	30.4	31.0	31.3	32.0	32.5	32.0	31.0	30.5	29.4	28.1	27.9	27.7	27.3	29.4
8/22/2013	27.1	26.9	26.0	26.0	26.0	26.1	27.0	28.0	28.5	29.2	30.0	30.4	31.4	31.5	31.2	30.7	26.3	25.8	25.8	26.0	26.1	25.8	25.6	25.5	27.6
8/23/2013	25.5	25.4	25.3	25.2	25.2	25.3	25.7	26.8	28.5	30.0	31.6	33.0	33.2	33.9	33.0	32.0	30.7	28.7	27.7	27.3	27.3	27.9	27.2	27.1	28.5
8/24/2013	26.8	26.7	26.7	26.5	26.5	26.5	26.7	27.6	28.5	29.6	30.8	32.4	32.4	31.6	32.4	32.6	32.1	29.8	28.5	28.4	28.1	28.4	28.0	27.9	29.0
8/25/2013	27.7	27.3	27.0	26.9	26.5	27.2	27.5	28.2	30.1	31.0	32.0	32.5	32.7	33.5	30.0	27.2	27.0	27.7	28.0	28.1	28.0	28.0	27.6	27.4	28.7
8/26/2013	27.3	27.1	26.9	26.5	26.4	26.3	26.3	27.0	29.0	30.6	32.1	32.6	32.7	33.6	33.2	32.8	32.4	31.3	28.7	28.6	28.6	28.4	28.3	28.0	29.4
8/27/2013	28.0	27.6	27.3	27.8	27.7	27.7	27.8	29.0	30.0	31.4	32.4	32.8	34.2	35.0	35.0	35.1	35.3	35.1	34.0	31.2	30.4	30.1	29.8	29.3	31.0
8/28/2013	27.8	27.0	26.4	26.2	26.2	26.3	26.8	27.6	28.7	30.0	35.7	33.0	34.0	34.7	34.7	32.6	31.0	31.0	30.8	29.8	29.4	29.1	28.7	28.9	29.9
8/29/2013	29.0	28.8	28.2	28.2	28.0	27.6	28.0	29.4	30.2	31.5	32.6	33.6	35.0	35.5	35.5	35.2	34.9	34.5	33.1	28.8	29.0	28.3	28.2	28.2	30.9
8/30/2013	28.1	28.0	27.8	27.6	27.6	27.5	27.5	28.0	30.1	31.5	33.0	33.4	34.3	34.6	35.4	36.3	34.3	27.6	25.7	26.0	26.2	26.5	26.8	26.8	29.6
8/31/2013	26.3	26.2	26.2	26.0	25.9	26.5	26.5	27.0	29.0	31.5	32.0	33.5	34.2	35.0	35.3	34.7	32.5	31.4	30.5	29.2	28.4	28.0	27.9	28.0	29.7
เฉลี่ยทั้งเดือน	27.6	27.3	27.0	26.9	26.8	26.8	27.0	27.8	29.2	30.5	31.7	32.4	33.0	33.3	33.0	32.6	31.6	30.5	29.6	29.0	28.6	28.3	28.1	27.9	29.4

ตารางที่ ค. 9 อุณหภูมิอากาศเดือนกันยายนปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีดอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
9/1/2013	27.9	27.7	26.6	26.3	26.0	26.5	26.7	27.2	28.7	30.2	31.7	32.6	33.0	34.2	34.7	34.8	34.5	33.4	31.8	31.0	30.0	29.7	29.6	29.4	30.2
9/2/2013	29.2	29.0	28.8	28.4	28.0	27.8	27.6	28.4	30.4	32.3	33.3	34.0	35.0	35.3	34.4	34.3	34.1	32.8	32.3	31.7	31.0	30.3	30.0	29.6	31.2
9/3/2013	29.3	29.0	28.6	28.0	27.7	27.7	27.7	28.7	29.6	30.3	31.8	32.9	34.2	34.9	36.4	34.5	34.2	33.4	32.1	31.3	30.6	30.2	29.9	29.7	30.9
9/4/2013	29.7	29.4	28.9	28.4	28.0	28.4	28.5	29.5	30.4	31.5	32.5	33.6	34.5	35.5	36.2	35.4	34.4	33.3	32.4	31.0	30.7	29.8	29.9	30.0	31.3
9/5/2013	29.7	29.2	29.1	29.5	29.3	29.1	29.0	29.2	30.5	32.0	33.2	33.5	34.2	34.7	35.2	35.3	35.0	33.7	31.0	27.5	26.5	27.2	26.5	26.0	30.7
9/6/2013	25.5	25.0	25.5	25.5	25.5	25.8	26.0	27.1	28.1	29.6	30.6	32.3	32.0	32.6	31.2	29.0	31.4	31.6	31.0	30.4	30.1	29.9	29.6	28.8	28.9
9/7/2013	28.4	27.6	27.2	27.0	26.7	26.9	27.0	27.9	30.0	31.5	32.2	32.5	26.9	26.3	26.3	26.5	26.0	26.4	26.5	26.5	26.5	26.5	26.3	26.1	27.6
9/8/2013	26.0	26.0	26.1	26.0	26.0	25.9	25.9	26.2	28.0	28.6	29.4	29.7	30.0	30.6	30.2	30.0	29.4	28.7	28.0	27.6	27.0	26.5	26.0	26.0	27.7
9/9/2013	26.0	26.5	26.0	25.8	25.9	25.9	26.0	26.7	27.8	29.8	31.4	33.0	33.3	33.4	32.8	29.4	33.0	30.4	29.4	29.0	28.2	28.7	28.7	28.7	29.0
9/10/2013	28.4	28.1	27.8	27.6	27.5	27.3	27.5	26.3	29.4	30.6	31.8	32.9	33.0	33.8	34.6	34.0	30.4	27.7	23.5	25.7	25.4	26.8	26.6	26.4	28.9
9/11/2013	26.4	26.1	25.0	24.7	24.7	24.7	25.1	25.7	27.8	29.1	31.0	32.4	33.0	34.2	34.6	33.8	33.4	32.0	29.7	25.3	24.5	24.3	25.2	25.2	28.2
9/12/2013	25.4	25.2	25.3	25.3	25.3	25.3	26.0	26.0	27.0	28.3	30.0	30.0	26.0	26.2	26.7	26.7	27.0	27.0	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.6
9/13/2013	26.7	26.3	25.6	25.7	25.7	25.8	26.0	26.0	26.3	26.6	26.9	27.0	27.2	27.5	27.8	28.0	28.0	27.7	27.4	27.2	27.0	27.0	26.6	26.4	26.8
9/14/2013	26.4	26.5	26.4	26.1	26.1	25.9	25.9	26.0	26.7	28.2	29.5	28.0	28.2	30.3	31.3	31.3	30.4	29.7	29.2	29.1	28.9	28.2	28.0	27.8	28.1
9/15/2013	27.6	27.3	27.1	26.9	26.7	26.5	27.1	27.5	28.5	24.8	30.8	31.3	32.0	32.1	32.7	32.4	31.7	30.7	30.0	26.5	25.7	25.7	25.6	25.5	28.4
9/16/2013	25.6	25.6	25.5	25.5	25.6	25.3	25.6	26.0	26.8	28.1															

ตารางที่ ค. 10 อุณหภูมิอากาศเดือนตุลาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีดอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
10/1/2013	26.3	26.2	25.4	25.4	25.5	25.6	25.8	26.5	28.0	29.3	30.5	31.9	31.6	32.7	32.1	32.3	31.9	31.0	30.0	29.5	29.2	28.9	28.5	28.2	28.8
10/2/2013	28.0	27.9	27.5	27.3	27.0	26.9	26.8	27.6	28.2	28.3	31.4	32.6	31.7	31.0	30.4	29.5	29.2	28.3	26.0	26.5	26.5	26.5	26.4	25.4	28.2
10/3/2013	25.2	25.2	25.0	25.0	25.0	25.3	25.9	26.4	27.2	29.2	29.9	30.1	29.5	28.4	27.0	28.8	28.6	27.8	27.4	26.4	25.8	26.0	25.7	24.4	26.9
10/4/2013	24.7	24.4	24.4	23.4	23.4	23.0	23.0	23.4	24.0	24.6	26.7	28.7	29.7	31.2	31.7	31.3	31.4	30.8	29.9	29.3	28.6	28.5	28.0	27.9	27.2
10/5/2013	27.5	27.2	26.8	26.5	26.4	25.8	25.3	26.1	27.0	28.8	30.3	32.4	34.1	34.0	33.4	33.5	33.5	32.6	31.8	31.4	30.7	30.4	30.0	29.5	29.8
10/6/2013	28.4	27.4	27.4	27.3	27.4	28.0	28.2	28.5	28.8	30.5	32.2	30.6	30.5	31.6	30.4	28.6	29.5	28.0	27.5	25.6	26.1	26.0	26.0	26.0	28.4
10/7/2013	26.0	26.0	25.8	24.5	24.6	24.6	24.7	25.0	26.4	27.0	28.3	27.9	28.2	29.4	30.0	30.2	30.1	27.5	26.4	26.4	25.7	25.7	25.7	25.8	26.7
10/8/2013	25.7	25.6	25.7	25.7	25.8	25.8	25.2	25.6	27.3	27.0	28.4	29.4	31.5	31.9	32.4	32.2	31.1	30.5	29.9	28.4	28.0	24.0	24.3	24.6	27.7
10/9/2013	24.7	24.6	24.7	24.5	24.5	25.0	25.2	26.4	27.6	29.3	30.9	31.9	32.0	32.5	33.3	33.2	31.3	30.8	30.3	30.2	30.0	29.4	29.1	28.7	28.8
10/10/2013	28.2	27.7	27.2	27.0	27.0	26.8	27.0	27.2	28.3	29.4	31.5	33.8	33.4	32.8	32.4	31.6	30.4	30.4	30.0	29.4	29.1	28.8	28.6	28.3	29.4
10/11/2013	28.4	28.3	28.1	28.2	28.0	27.9	28.0	28.5	29.0	30.5	31.6	32.1	32.5	33.5	35.2	34.1	33.2	32.2	31.6	31.4	30.5	30.5	30.5	29.5	30.6
10/12/2013	29.0	28.5	28.2	28.0	27.8	27.4	27.2	28.2	29.4	31.2	32.6	33.0	34.0	34.4	34.1	34.5	33.8	33.0	32.0	31.8	31.4	30.7	30.6	29.9	30.9
10/13/2013	29.4	28.6	28.4	28.3	28.1	27.7	27.9	28.8	30.4	32.6	32.7	34.0	34.4	35.2	35.6	34.7	34.2	33.4	32.3	31.5	30.9	30.3	29.8	29.8	31.2
10/14/2013	29.7	29.0	29.0	29.2	28.5	27.6	27.8	28.5	29.5	31.0	32.0	33.2	34.2	34.4	35.4	34.8	34.0	33.2	32.8	32.3	31.7	31.2	31.0	30.6	31.3
10/15/2013	30.3	29.8	29.0	28.5	28.2	27.8	27.8	28.5	30.2	32.2	33.0	33.5	34.7	34.9	35.2	34.0	33.3	32.0	28.6	30.0	30.4	30.0	29.7	29.8	30.9
10/16/2013	29.8	27.3	27.3	26.9	26.7	26.5	24.5	24.8	25.3	25.8	25.9	25.6	24.4	24.5	25.0	25.5	25.9	25.8	25.7	25.7	25.8	25.7	25.5	25.6	25.9
10/17/2013	25.7	25.7	25.7	25.8	25.5	25.5	26.0	25.9	24.8	25.8	26.6	27.1	25.6	26.5	26.7	26.8	26.9	26.6	26.3	26.3	26.0	25.9	25.7	25.7	26.0
10/18/2013	25.6	25.6	25.7	25.6	25.4	25.4	25.3	26.5	29.3	30.5	31.4	32.6	33.4	34.0	34.4	34.0	32.5	32.0	30.2	29.0	28.0	27.0	26.0	26.1	29.0
10/19/2013	26.0	26.0	25.2	25.0	24.9	25.0	25.3	25.4	25.7	26.7	28.0	30.3	30.5	29.4	28.8	28.8	28.8	28.3	27.5	27.0	27.0	26.7	26.5	26.4	27.1
10/20/2013	26.0	25.8	25.7	25.4	25.2	25.4	25.8	26.4	28.0	29.2	30.3	31.8	33.2	33.3	33.5	33.6	32.6	30.7	29.5	29.4	29.2	29.1	29.0	28.8	29.0
10/21/2013	28.4	28.1	27.9	27.9	27.6	27.3	27.5	29.0	29.6	29.8	31.9	33.3	33.4	34.4	34.4	32.5	32.1	30.8	30.0	29.6	29.4	29.0	28.8	30.3	30.3
10/22/2013	28.5	28.0	27.9	28.0	27.7	27.5	27.6	29.1	30.7	32.1	33.0	33.6	34.2	34.4	35.3	34.4	34.1	32.4	31.7	30.8	30.4	30.0	29.5	29.0	30.8
10/23/2013	28.6	28.2	27.9	27.5	27.4	27.2	27.0	27.8	30.1	31.0	31.9	32.8	33.8	34.0	33.8	33.6	33.0	32.6	31.5	31.0	30.7	30.6	30.0	29.4	30.5
10/24/2013	28.7	28.4	28.2	27.9	27.6	27.3	27.7	28.5	29.6	31.6	32.6	33.4	34.3	34.1	33.6	33.1	32.1	31.5	31.1	30.7	30.2	29.8	29.4	30.3	30.7
10/25/2013	29.1	28.8	28.3	27.9	27.5	27.4	27.5	28.6	29.7	31.0	32.2	33.0	34.2	34.0	33.5	33.6	33.2	31.8	31.0	30.4	29.1	28.5	27.5	27.0	30.2
10/26/2013	26.7	26.4	25.7	25.5	25.2	25.0	25.0	26.1	28.0	29.0	31.0	31.0	32.0	32.5	33.0	33.0	32.2	30.2	29.4	29.1	29.5	29.0	28.0	27.7	28.8
10/27/2013	26.6	26.2	25.8	25.5	25.3	25.0	25.0	25.6	27.2	29.4	30.7	32.0	33.2	33.2	33.5	33.2	32.3	30.8	30.2	30.0	29.4	29.0	28.4	28.4	29.0
10/28/2013	28.2	28.3	27.7	27.2	26.8	26.5	26.6	26.8	29.3	30.8	31.8	32.7	33.7	34.0	33.4	33.2	32.3	31.6	31.0	30.4	29.9	29.4	29.1	28.8	30.0
10/29/2013	28.6	28.3	28.0	27.4	26.4	26.7	26.7	27.9	29.5	30.5	31.5	33.0	33.4	32.7	33.4	34.0	33.2	32.3	30.3	29.8	29.4	28.5	28.3	28.1	29.9
10/30/2013	28.0	27.8	27.6	27.2	26.8	26.5	27.2	27.7	29.0	31.4	32.7	34.1	34.6	35.1	35.0	34.6	34.1	32.8	32.0	31.3	31.0	30.4	30.2	29.7	30.7
10/31/2013	29.4	28.8	28.5	28.0	28.0	27.7	27.5	29.5	31.4	32.7	34.2	34.4	34.8	34.6	34.7	34.6	34.7	33.4	32.3	32.2	31.4	30.2	29.7	29.6	31.3
เฉลี่ยทั้งเดือน	27.6	27.2	27.0	26.7	26.5	26.4	26.4	27.1	28.3	29.6	30.9	31.8	32.3	32.5	32.6	32.4	31.8	30.9	29.9	29.5	29.1	28.6	28.3	28.0	29.2

ตารางที่ ค. 11 อุณหภูมิอากาศเดือนพฤศจิกายนปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีดอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา

[9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
11/1/2013	29.2	29.0	28.6	28.2	28.0	27.9	27.4	28.2	30.3	32.8	33.5	34.6	35.9	35.6	36.5	35.5	34.5	33.4	31.1	30.4	30.8	30.8	30.1	29.4	31.3
11/2/2013	29.4	29.1	28.8	28.4	28.0	27.7	26.7	28.3	29.3	32.0	33.5	34.6	35.0	35.7	35.1	35.0	34.7	32.7	31.6	31.6	30.6	30.0	29.4	29.2	31.1
11/3/2013	28.8	28.2	27.7	27.5	27.4	27.0	26.7	28.2	29.9	31.6	33.1	34.3	34.8	35.3	35.9	35.1	34.2	33.0	31.7	30.6	29.8	28.2	28.1	27.8	30.6
11/4/2013	27.3	27.0	26.4	26.3	25.8	25.4	25.7	27.0	29.0	31.0	32.4	33.5	34.5	35.3	35.3	35.2	33.4	31.9	30.9	30.0	29.1	28.4	28.0	27.7	29.9
11/5/2013	27.4	27.0	26.2	26.3	26.0	25.7	25.7	26.6	28.2	30.3	31.4	31.9	33.0	33.7	34.2	33.3	33.4	32.2	31.3	31.3	31.1	30.4	30.2	29.8	29.9
11/6/2013	29.2	28.9	28.3	28.0	27.6	27.0	27.4	28.1	29.2	30.8	31.6	32.5	33.1	33.6	34.5	33.4	32.0	31.3	30.6	30.3	30.3	29.8	29.3	28.8	30.2
11/7/2013	28.8	28.3	28.0	28.0	27.8	27.6	27.6	28.0	28.5	29.3	29.9	30.6	31.7	30.5	30.6	30.0	29.4	29.4	28.4	26.8	26.5	26.4	26.2	26.0	28.5
11/8/2013	25.9	25.8	25.4	25.0	24.7	25.0	25.4	25.3	25.5	26.4	28.2	29.2	30.0	30.9	30.3	29.4	29.0	28.4	28.3	27.8	27.2	27.1	27.0	26.7	27.2
11/9/2013	26.8	26.8	26.3	26.5	26.2	26.0	26.0	27.0	28.9	30.2	31.5	32.3	32.9	33.2	33.6	34.0	32.8	31.9	31.2	30.7	29.6	29.2	28.5	28.3	29.6
11/10/2013	27.9	27.5	27.2	26.8	26.6	26.1	26.0	26.3	28.0	29.9	31.4	32.3	33.3	33.9	34.2	34.3	33.2	32.0	31.1	30.6	30.3	30.0	29.3	29.0	29.9
11/11/2013	28.5	28.0	27.5	27.2	27.0	26.6	26.5	27.5	29.2	30.8	33.0	33.8	34.2	35.3	34.7	34.4	34.0	33.0	31.6	30.8	30.6	30.3	30.2	29.6	30.6
11/12/2013	29.4	29.1	28.6	28.0	27.9	27.4	27.4	28.2	29.8	31.5	33.2	34.0	35.1	35.0	35.6	36.1	34.7	32.0	30.6	30.0	30.0	29.8	29.0	28.8	30.9
11/13/2013	26.8	26.7	28.5	28.4	27.9	27.6	27.7	28.4	30.3	31.4	32.5	33.1	33.0	30.0	29.1	28.1	29.0	29.2	29.1	28.9	28.8	28.6	28.5	28.3	29.2
11/14/2013	28.1	28.0	27.9	27.9	27.8	27.3	28.0	28.8	29.5	30.8	31.8	32.3	32.7	33.6	33.7	32.3	31.0	30.0	29.4	25.8	26.6	26.7	26.8	26.7	29.3
11/15/2013	26.5	26.5	26.4	26.1	26.1	26.3	26.2	26.2	27.6	29.4	30.6	31.5	32.6	32.7	32.4	32.2	31.9	30.2	29.4	28.7	28.4	27.8	27.5	27.0	28.8
11/16/2013	27.0	26.8	26.2																						

ตารางที่ ค. 12 อุณหภูมิอากาศเดือนธันวาคมปี พ.ศ.2556 วัดที่สถานีตอนเมืองกรมอุตุนิยมวิทยา [9]

วันที่	เวลาทำการตรวจ																				เฉลี่ย				
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00		21:00	22:00	23:00	0:00
12/1/2013	24.8	24.0	24.1	24.0	23.7	23.2	23.1	24.0	25.6	27.5	29.2	30.0	31.4	32.0	32.5	32.0	31.6	30.0	29.3	28.3	27.8	27.0	26.4	26.2	27.4
12/2/2013	25.1	25.0	24.8	24.2	23.2	23.2	23.0	23.0	23.8	25.3	27.2	28.8	29.6	30.1	30.3	30.4	30.0	28.3	27.2	27.0	26.4	25.6	25.1	24.4	26.3
12/3/2013	23.4	23.0	22.4	22.0	21.4	21.1	20.5	21.1	22.5	24.6	26.5	28.0	29.7	30.8	31.6	32.2	31.2	28.0	26.4	25.5	24.4	23.8	23.5	22.5	25.3
12/4/2013	22.0	21.7	21.2	21.1	20.6	20.2	20.8	22.0	23.7	25.7	28.0	29.0	31.2	32.2	32.6	32.3	31.4	29.4	28.6	28.0	27.4	27.1	26.3	25.4	26.2
12/5/2013	24.8	24.1	23.8	23.1	22.6	22.0	22.4	23.3	24.7	26.4	28.1	29.0	30.3	29.7	29.8	29.6	28.8	27.5	27.8	27.3	26.9	26.6	25.7	25.0	26.2
12/6/2013	24.4	24.1	23.9	23.0	22.7	22.2	22.0	23.4	25.0	26.4	28.3	28.7	29.0	29.1	29.4	29.4	28.8	27.8	27.6	27.4	27.0	25.7	24.8	24.3	26.0
12/7/2013	24.5	23.4	22.6	22.4	21.8	21.6	21.0	22.4	23.9	26.4	27.5	28.5	29.7	30.0	30.5	30.6	30.5	29.5	26.9	25.8	26.3	26.1	25.4	24.5	25.9
12/8/2013	23.9	23.4	23.1	22.6	22.0	21.7	21.5	22.9	24.8	26.1	27.1	28.1	28.6	28.7	29.0	29.6	28.7	28.0	27.4	26.8	26.2	25.6	25.1	24.3	25.6
12/9/2013	23.7	22.8	23.1	22.6	21.9	21.4	21.6	23.3	24.8	27.2	29.7	31.2	32.0	32.0	32.3	32.0	31.0	30.2	29.2	27.9	26.9	25.9	25.7	25.0	26.8
12/10/2013	24.5	23.7	22.5	23.2	23.1	22.2	21.8	22.6	24.8	27.0	28.4	29.2	29.9	30.4	30.6	30.0	29.2	28.2	27.4	27.2	26.8	26.0	25.8	25.1	26.2
12/11/2013	24.6	24.3	23.4	23.0	22.7	22.6	22.6	23.5	25.4	27.4	30.2	30.9	31.0	32.0	32.4	33.2	31.3	30.2	29.0	28.4	27.3	27.0	26.6	25.2	27.3
12/12/2013	24.1	24.3	23.3	23.2	23.1	22.4	22.9	24.0	25.5	27.6	29.7	30.1	30.3	31.2	31.4	31.0	30.4	28.8	27.9	27.8	27.4	26.7	26.1	26.1	26.9
12/13/2013	25.5	24.9	24.7	24.5	24.2	23.6	24.1	24.7	26.5	28.2	30.1	31.7	32.9	33.2	33.6	33.2	31.8	30.9	30.1	29.6	28.3	27.6	27.1	26.1	28.2
12/14/2013	26.3	25.9	24.6	24.4	24.3	23.9	24.4	25.8	27.7	28.9	31.0	32.1	32.8	33.1	32.2	31.5	31.1	30.0	29.6	29.3	29.0	28.8	28.4	28.1	28.5
12/15/2013	27.8	27.5	26.9	26.7	26.3	25.5	25.7	26.0	27.3	28.5	29.8	30.7	31.2	32.5	32.3	32.2	31.5	29.9	29.2	28.5	28.1	27.9	27.6	27.4	28.6
12/16/2013	27.3	27.1	26.9	26.1	25.3	25.3	25.3	25.8	27.8	28.3	30.3	31.7	32.3	31.4	30.9	30.5	30.0	29.9	28.4	27.3	27.3	26.6	26.2	24.0	28.0
12/17/2013	23.2	22.6	22.4	22.0	21.8	21.2	20.9	20.9	22.9	24.0	24.5	25.4	26.3	26.2	25.8	25.4	25.0	24.2	23.2	22.6	21.2	20.9	20.2	19.7	23.0
12/18/2013	19.9	19.5	18.8	18.3	18.0	17.7	18.0	18.8	20.6	22.8	23.5	25.5	25.6	25.8	26.4	26.1	25.9	24.1	24.3	23.7	22.6	21.7	20.6	19.9	22.0
12/19/2013	19.0	18.5	19.4	19.0	18.0	17.5	17.0	18.2	20.5	22.8	24.3	25.6	26.3	25.6	26.6	26.4	25.4	24.3	24.0	23.1	22.7	22.3	22.1	21.5	22.1
12/20/2013	20.1	19.8	19.8	19.0	18.7	18.9	18.7	19.6	21.4	22.9	25.1	26.2	26.9	26.6	27.0	27.0	25.5	24.0	23.1	22.4	22.4	21.2	20.7	20.1	22.4
12/21/2013	20.0	19.1	18.7	18.1	17.7	17.4	17.3	18.5	20.8	22.4	24.0	24.8	25.7	26.3	26.4	26.2	25.4	24.4	23.9	22.8	21.2	20.4	19.9	19.1	21.7
12/22/2013	19.4	19.2	18.9	18.3	18.0	17.5	17.7	18.7	20.6	22.4	23.5	24.7	25.5	26.1	26.4	26.2	25.9	24.6	24.0	23.2	23.2	22.4	21.4	20.8	22.0
12/23/2013	20.0	19.8	19.0	19.0	18.3	18.0	18.3	19.9	21.3	23.4	25.2	26.4	27.7	28.2	27.5	27.4	27.2	26.0	25.2	24.6	24.0	23.1	22.8	21.8	23.1
12/24/2013	21.4	20.7	19.8	19.5	19.4	19.0	19.8	20.3	21.8	24.2	26.0	27.7	28.5	28.9	28.6	28.4	27.7	25.9	25.3	23.4	24.0	23.0	22.0	21.1	23.6
12/25/2013	20.9	20.0	19.4	19.0	19.1	18.3	19.1	19.8	21.2	23.4	24.7	26.1	26.4	26.9	27.3	27.3	27.0	25.2	24.4	23.6	22.7	22.7	21.3	20.4	22.8
12/26/2013	20.3	19.3	19.1	18.6	18.4	18.0	17.5	19.0	21.2	23.2	25.2	26.6	27.1	27.7	27.4	28.0	27.1	25.8	24.7	24.0	23.4	22.0	20.2	20.8	22.7
12/27/2013	19.4	19.8	18.9	17.8	18.3	17.2	16.1	18.0	20.5	22.6	24.2	25.6	26.7	27.4	27.5	26.9	26.5	24.8	24.1	23.2	23.0	20.6	20.3	19.5	22.0
12/28/2013	18.4	18.2	17.8	16.5	16.6	15.8	15.7	16.8	19.5	21.1	23.3	24.5	25.5	25.9	25.9	26.3	25.5	24.1	23.3	22.4	21.7	22.1	21.8	20.2	21.2
12/29/2013	19.6	18.7	18.2	17.9	17.3	16.4	16.1	17.8	19.9	21.5	23.7	24.7	26.0	26.6	26.7	26.5	25.7	24.1	23.5	22.9	23.3	21.8	21.7	21.4	21.8
12/30/2013	21.2	21.0	20.0	19.9	19.4	18.9	17.8	18.4	20.5	22.6	24.5	25.9	26.9	27.2	27.5	26.8	26.0	25.7	25.0	25.2	24.0	23.7	22.8	22.0	23.0
12/31/2013	21.0	21.1	20.0	20.3	20.3	19.7	19.7	20.9	22.0	23.8	25.2	26.3	27.5	28.1	28.0	28.1	27.4	25.9	25.0	23.7	23.5	23.0	21.8	21.4	23.5
เฉลี่ยทั้งเดือน	22.6	22.1	21.7	21.3	20.9	20.4	20.4	21.4	23.2	25.0	26.7	27.9	28.7	29.1	29.2	29.1	28.4	27.1	26.3	25.6	25.0	24.4	23.7	23.0	24.7



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย สัมฤทธิ์ เหล่าอิมจันทร์

ตำแหน่งปัจจุบัน (ธ.ค. 2557)

พนักงานบริษัท ไทย เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด ตำแหน่ง วิศวกรงานขาย (Sales Engineer)

ประสบการณ์การทำงาน

มี.ย. 2550 – ปัจจุบัน (มี.ค. 2557) วิศวกรงานขาย ฝ่ายขายต่างประเทศ บริษัท ไทย เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด. กรุงเทพมหานคร

พ.ย. 2548 - พ.ค. 2550 วิศวกรงานขาย บริษัท ไทย ออโตเมชั่น จำกัด. กรุงเทพมหานคร

ก.ค. 2546 – ต.ค. 2548 ธุรกิจส่วนตัว กิจการด้านโรงกลึง สมุทรปราการ

มี.ย. 2545 – ก.ค. 2546 วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัท แพนสตาร์ จำกัด. สมุทรสาคร

การศึกษา

2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์